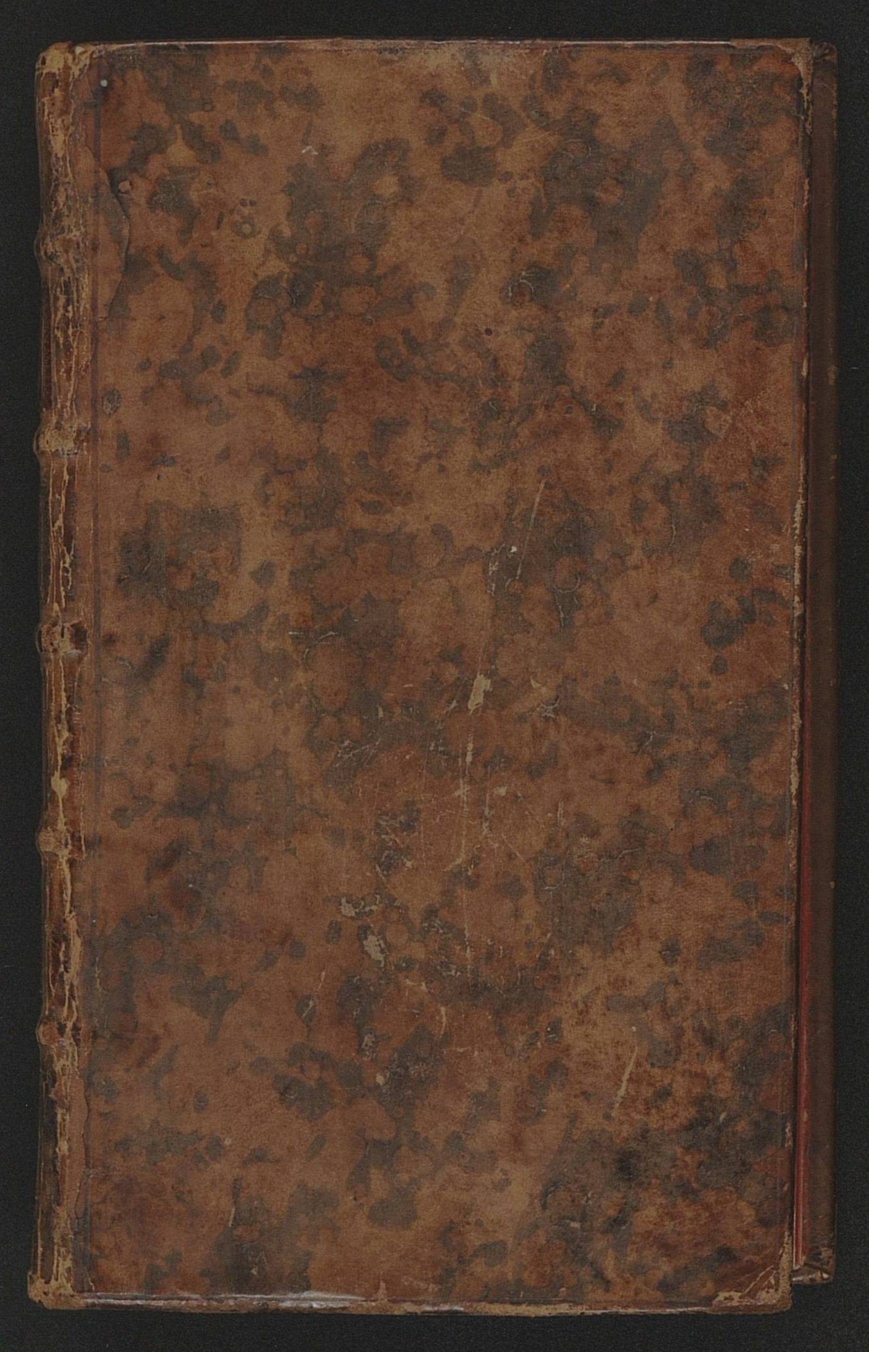
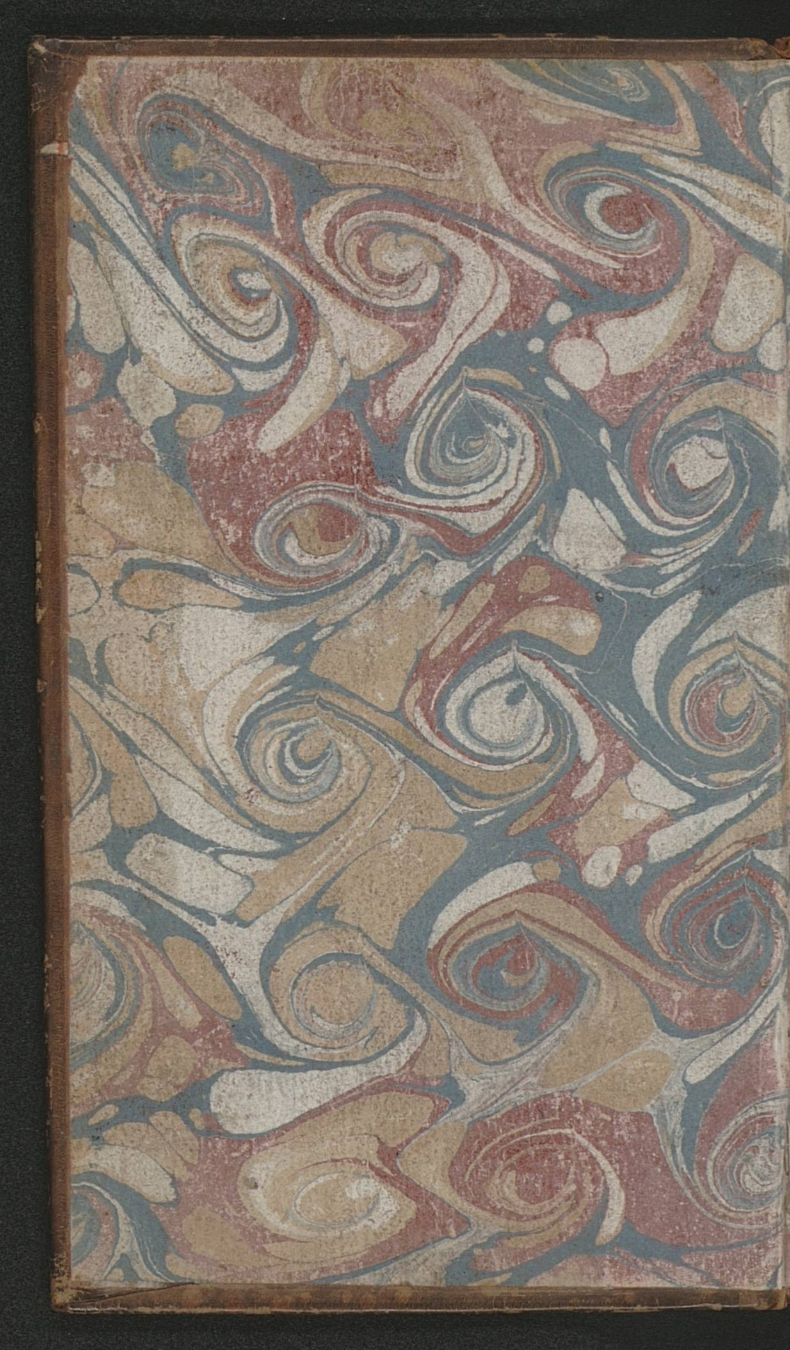






LEÇONS
DE PHYSIQUE
EXPÉRIMENTALE.

Par M. l'Abbé NOLLET, *de l'Académie Royale des Sciences, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, & Maître de Physique de* MONSEIGNEUR LE DAUPHIN.

TOME TROISIE'ME.

SECONDE EDITION.



A PARIS,
Chez les Freres GUERIN, rue S. Jacques, vis-à-vis les Mathurins, à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. L. [1750]
Avec Approbation, & Privilége du Roy.

AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doivent être placées de maniére qu'en s'ouvrant elles puissent sortir entiérement du livre, & se voir à droite, dans l'ordre qui suit.

TOME TROISIÉME.

	page	planche
IX. LEÇON.	24	1
	42	2
	68	3
	86	4
	98	5
	106	6
	124	7
	136	8
	170	9
X. LEÇON.	192	1
	216	2
	232	3
	254	4
	286	5
	334	6
XI. LEÇON.	412	1
	438	2
	468	3
	500	4

EXTRAIT DES REGISTRES de l'Académie Royale des Sciences.

Du 6. Mars 1745.

MOnſieur de Reaumur & moi, qui avions été nommés pour examiner *le troiſiéme Volume des Leçons de Phyſique Expérimentale* de M. l'Abbé Nollet, en ayant fait notre rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'Impreſſion; en foi de quoi j'ai ſigné le préſent Certificat. A Paris, ce 6. Mars 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY,
Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale des Sciences.

LEÇONS



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPERIMENTALE.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

APRE'S avoir enseigné, dans les Leçons précédentes, les propriétés & les loix du mouvement, tant pour les corps solides, que pour les fluides, il nous reste à parler dans celle-ci des moyens par lesquels on peut l'employer, ou plus commodément, ou avec plus d'avantage. Ces moyens sont les *Machines*, c'est-à-dire, certains corps ou assemblages d'une construction plus ou moins simple, qui

IX. LEÇON.

IX. LEÇON.

transmettent l'action d'une puissance sur une résistance, & qui la font croître ou diminuer en variant les vîtesses.

La science qui traite des machines s'appelle *Méchanique* ; elle suppose, dans celui qui s'y applique, des connoissances suffisantes de Mathématiques & de Physique : car un Méchanicien doit non seulement estimer & mesurer des forces opposées entre elles relativement à leurs positions respectives ; mais il faut encore qu'il sçache distinguer quelle est la nature de ces forces, ce qui peut s'y mêler d'étranger, par la qualité des matiéres qu'on employe, par la circonstance du lieu, du tems, &c. Celui qui ne posséderoit que la partie physique, pourroit faire des machines durables & bien assorties, quant à l'assemblage des piéces & à leur maniére de se mouvoir ; mais il courroit risque de se tromper souvent dans les proportions, & les effets se trouveroient rarement tels qu'il les auroit attendus. Celui qui n'auroit que des connoissances purement mathématiques, & qui ne considéreroit que des lignes & des points dans les quantités dont

il voudroit faire usage, trouveroit sans doute beaucoup de déchet après l'exécution. Enfin celui qui ne seroit ni Géométre, ni Physicien, travailleroit absolument en aveugle, & ne pourroit se flatter de réussir que par un pur hazard; souvent après bien des tentatives inutiles, pénibles & presque toujours dispendieuses. C'est une vérité que l'expérience prouve depuis long-tems, & qui devroit corriger bien des gens dont le travail est infructueux. Mais de même que l'amour propre & l'envie d'être Auteur, fait imprimer quantité de mauvais Ouvrages malgré la critique, les mêmes motifs & souvent l'appas du gain, font faire aussi les frais d'un nombre prodigieux d'inventions qui ne verroient pas le jour, si ceux qui les imaginent en sçavoient assez pour en bien juger.

Les mauvaises machines naissent plus fréquemment que les bonnes; & c'est ce qui décrédite un peu la Méchanique dans l'esprit de plusieurs personnes qui confondent injustement le Machiniste avec le vrai Méchanicien: on revient aisément de

IX. LEÇON.

cette idée, quand on fait attention que des Sçavans du premier ordre, Archytas, Ariſtote, Archimédes, &c. parmi les Anciens; MM. Mariotte, Amontons, de la Hire, Varignon, &c. parmi les Modernes, ſe ſont appliqués particuliérement à la ſcience des machines utiles, & ſe ſont rendus recommandables par les progrès qu'ils y ont faits. Les découvertes de ce genre font autant d'honneur, & ne méritent pas moins d'applaudiſſemens que celles de toute autre eſpéce: l'objet de cette ſcience n'eſt-il pas très-utile en lui-même? & la ſociété n'en retire-t-elle pas des avantages conſidérables? Jugeons de ce que nous en pouvons attendre par les productions dont nous jouiſſons actuellement: les moulins qui nous préparent la farine, ceux qui foulent nos étoffes, ou qui nous tirent l'huile des végétaux, les differentes pompes qui élévent l'eau pour nos uſages & pour la décoration de nos jardins, les voitures qui nous épargnent tant de fatigues, & qui rendent les tranſports ſi faciles & ſi commodes; les poulies, les grues, les cabeſtans

dont l'application eſt ſi avantageuſe & ſi fréquente dans l'architecture & dans la navigation : les ponts-levis, & quantité d'autres moyens dont on ſe ſert pour défendre les places, ne ſont-ils pas autant de machines dont nous ſentons tous les jours l'utilité, & qui deviennent même néceſſaires ſelon les circonſtances ? On doit aſſurément ſçavoir bon gré à ceux qui veulent bien ſe refuſer aux attraits ſéduiſans de la haute Géométrie, pour ſe donner le loiſir d'en appliquer les principes à des recherches de cette nature : elles ſont moins brillantes, que la ſolution des grands problêmes; mais elles ne m'en paroiſſent pas moins eſtimables, parce qu'elles tendent plus directement au bien de la ſociété, & qu'elles ont, pour l'ordinaire, des applications plus promptement, & quelquefois plus généralement utiles.

IX. LEÇON.

On diſtingue communément deux ſortes de machines ; celles qui ſont *ſimples*, & celles qui ſont *compoſées* : les premiéres ſont comme les élémens des autres, & ce ſont elles qui vont faire principalement le ſujet de

IX. LEÇON.

cette Leçon ; car la multiplication & l'aſſemblage des machines ſimples dans un même tout, n'apporte aucun changement eſſentiel à leurs propriétés, & nous ne devons pas entreprendre de faire une énumération complette de toutes les machines composées qui ont été miſes au jour pour faire connoître toutes les applications qu'on y a faites de celles qui ſont ſimples. Nous nous contenterons d'indiquer celles qui ſont le plus en uſage, dont la conſtruction pourra s'entendre plus facilement, & qui n'auront pas beſoin de ces deſcriptions longues & détaillées qui ne peuvent avoir place dans cet Ouvrage.

Le nombre des machines ſimples varie ſelon la maniére d'eſtimer leur ſimplicité ; les uns regardant comme ſimple ce que d'autres conſidérent comme étant déja composé, c'eſt une choſe aſſez arbitraire & peu importante : pour moi ſans déſapprouver les opinions qui différent de la mienne à cet égard, je ne compte que trois ſortes de machines ſimples ; ſçavoir, le *Lévier*, le *Plan incliné*, &

les *Cordes*. Mais avant que d'entrer en matiére, il eſt à propos d'établir quelques notions générales, qui rendront notre théorie plus facile à ſaiſir, & de prévenir auſſi quelques difficultés qui pourroient naître dans le cours de nos explications.

IX. Leçon.

Dans une machine, il y a quatre choſes principales à conſidérer; la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou centre de mouvement, & la vîteſſe avec laquelle on fait mouvoir la puiſſance & la réſiſtance.

On appelle *puiſſance* une force quelconque, ou pluſieurs enſemble, qui concourent à vaincre un obſtacle, ou à ſoutenir ſon effort; ainſi les hommes ou le cheval qui remontent un bateau contre le courant de la riviere, le poids d'un tourne-broche, ceux d'une horloge ou d'une pendule, doivent être regardés comme la puiſſance ou force motrice.

Quand la puiſſance qu'on employe dans une machine eſt l'effort d'un animal, on doit l'eſtimer relativement à la nature & à la durée du travail. Car quoiqu'un cheval puiſſe vaincre pour un tems fort court une

IX. LEÇON.

force de 500 ou 600 livres, & qu'un homme ſoutienne pendant quelques inſtans un fardeau de 100 ou 150 livres, quand il s'agit de travailler de ſuite, on ne doit pas compter ſur un effort qui excéde 25 ou 30 livres de la part d'un homme, & environ 180 livres de la part d'un cheval ; encore faut-il qu'ils agiſſent avec liberté, & qu'ils ne ſoient pas gênés, ſoit par la diſpoſition de la machine à laquelle on les applique, ſoit par la ſituation du terrain, ou autrement.

Si la puiſſance eſt un poids ou un reſſort, il peut arriver qu'elle ne ſoit pas d'une valeur conſtante : car 1°. à meſure qu'un reſſort ſe déploye, ſon effort diminue ; & ſi la machine n'eſt point faite d'une maniére qui ſupplée à cette diminution, les efforts ne peuvent pas être auſſi grands à la fin qu'au commencement. 2°. Nous avons fait voir, en parlant de la péſanteur, que l'accélération augmente la force des corps qui tombent librement, c'eſt-à-dire, avec une vîteſſe très-ſenſible ; ainſi dans tous les cas où le mouvement eſt imprimé par le choc d'un corps qui tombe, la machine en reçoit d'autant plus que

le moteur deſcend de plus haut.

La *réſiſtance* eſt une autre force ou la ſomme de pluſieurs obſtacles qui s'oppoſent au mouvement de la machine que la puiſſance anime ou fait mouvoir ; tel eſt un bloc de pierre ou de marbre qui réſiſte par ſon poids à l'action des hommes qui ſont effort pour le traîner ou pour l'enlever, par le moyen d'un treuil, d'un cabeſtan, d'une grue, &c.

La réſiſtance n'eſt pas toujours une quantité conſtante comme un poids qu'on veut enlever ; ſouvent ce ſont des reſſorts à tendre, des corps à diviſer, des fluides à ſoutenir ; & en pareils cas, la puiſſance a plus ou moins à faire au commencement de ſon action qu'à la fin. Pour n'être point pris en défaut, on doit proportionner la machine de façon que la réſiſtance, étant la plus grande qu'elle puiſſe être, ſe trouve encore inférieure à la force motrice. Ainſi lorſqu'il s'agit, par exemple, de faire monter l'eau, par le moyen d'une pompe, on doit conſidérer le tuyau montant comme étant toujours plein quoiqu'il ne le ſoit veritablement

IX. LEÇON.

qu'après un certain nombre de coups de pistons, pendant lesquels la force motrice est plus que suffisante.

On appelle *Point d'appui*, *Centre de mouvement*, ou *Hypomochlion*, cette partie d'une machine, autour de laquelle les autres se meuvent; c'est dans une balance, l'endroit de la chasse sur lequel repose l'axe du fleau; c'est dans une roue de carosse, l'extrémité du rayon qui touche actuellement le terrain, lorsqu'elle roule: c'est la penture d'une porte, l'axe d'une poulie, &c.

Le centre du mouvement n'est pas toujours un seul point fixe; dans bien des occasions, c'est une suite de points qui forment une ligne, tel est l'axe d'une sphére, telles sont les charniéres, & tout ce qui en fait l'office.

Le point d'appui, bien souvent, n'est fixe que relativement à la révolution dont il est le centre: il peut être mobile d'ailleurs; tel est, par exemple, l'essieu d'une charetrte qui est emporté dans une direction parallèle au terrain, pendant qu'il est le centre du mouvement des roues; quelquefois même c'est l'action d'un

corps animé qui sert d'appui, comme lorsque deux hommes portent ensemble quelque fardeau sur un bâton dont ils soutiennent chacun un bout ; l'un des deux, indifféremment, peut être regardé, ou comme puissance, ou comme point d'appui.

IX. Leçon.

Les vîtesses se mesurent par les espaces que parcourent la puissance & la résistance, ou qu'elles parcourroient, eu égard à la disposition de la machine, si l'une emportoit l'autre. Un homme, par exemple, qui tire un fardeau par le moyen d'un cabestan, décrit, en marchant, la circonférence d'un cercle ; & pendant qu'il parcourt ce chemin, le fardeau s'approche d'une certaine quantité : ce sont ces espaces parcourus de part & d'autre qui déterminent les vîtesses relatives ; car le tems est égal pour l'un & pour l'autre. De même quand les deux bassins d'une balance sont en repos par cause d'équilibre, on connoît leurs vîtesses, par le chemin qu'ils feroient en même tems, l'un en montant, l'autre en descendant, si le mouvement avoit lieu.

La pésanteur est une force qui

IX. LEÇON.

s'employe souvent en méchanique comme puissance ou comme résistance : quoiqu'elle appartienne également à toutes les parties de matiére renfermées sous un même volume; pour plus de simplicité, nous la considérerons comme résidante en un seul point que nous nommerons, *Centre de gravité.*

Ce centre de gravité, ou de pésanteur, n'est pas toujours celui de la figure ; c'est un point par lequel un corps étant suspendu, toutes ses autres parties demeurent en repos, & avec lequel elles se meuvent toutes lorsqu'il cesse d'être appuyé. De-là il est aisé de comprendre que ce point ne se trouve justement au milieu que dans les corps dont les parties sont homogénes & la figure symmétrisée. Dans une boule bien ronde, par exemple, & d'une densité bien uniforme, il est évident que tous les rayons ou demi-diamétres sont égaux & de même poids ; égaux, à cause de la figure parfaitement sphérique ; de même poids, à cause de l'homogénéité des parties : tout est donc en équilibre autour d'un point qui est en même-

tems centre de gravité & de figure. Il n'en eſt pas de même d'une fléche dont le bout eſt ferré, ou d'une plume à écrire ; ſi l'on partage ſa longueur en deux parties égales, l'une ſe trouvera plus péſante que l'autre, & la ſection n'aura point paſſé par le centre de ſa péſanteur, quoiqu'elle ſe ſoit faite à celui de ſa figure.

IX. LEÇON.

De la même maniére que l'on conçoit toute la péſanteur d'un corps réunie dans un ſeul point, on conſidére pareillement dans un eſpace infiniment petit, celle de pluſieurs corps qui concourent à une même action par leurs poids. Quand pluſieurs maſſes péſent ſur une même corde par des fils qui les y attachent, on peut regarder le nœud commun de ces fils comme le centre des péſanteurs particuliéres. *A*, *B*, *Fig.* 1. étant donc les centres de gravité des deux corps ſuſpendus, leurs actions ſe réuniſſent en *C*, ou dans tout autre point que l'on voudra choiſir de la ligne *C d*, pourvû que le poids *A* ſoit égal au poids *B* ; car ſi l'une des deux boules étoit de bois, & l'autre de pierre, le centre de la plus péſante s'appro-

IX. Leçon.

cheroit davantage de la ligne *c D*, & la ligne *a b* seroit partagée par la direction *c D* en deux parties inégales, dont la plus longue seroit à la plus courte, comme le plus grand poids au plus petit.

Quel que puisse être le nombre de ces corps pésans, si l'on connoît le centre de gravité de chacun d'eux, on détermine facilement l'endroit où se réunissent leurs forces, parce que les distances sont connues; mais ceci s'entendra mieux quand nous aurons expliqué la théorie du lévier.

La pésanteur a une intensité différente lorsque les corps sont plus ou moins éloignés du centre de la terre où ils tendent; mais dans la suite de cette Leçon, nous n'aurons point égard à cette différence, parce qu'elle n'est jamais sensible dans l'étendue que peut avoir une machine; ainsi nous supposerons qu'un poids dont la chûte n'est point accélérée, exerce toujours la même force ou la même pression dans toute sa direction. Un seau plein d'eau qui pése 100 livres sur la poulie du puits, lorsqu'il est en haut, est donc censé péser autant

lorsqu'il est 50 ou 60 pieds plus bas, (abstraction faite du poids de la corde ;) & celui qui sonne une cloche fait toujours le même effort, soit que la corde ait beaucoup ou peu de longueur.

Nous regarderons aussi comme paralléles les directions de deux poids distans l'un de l'autre, quoiqu'à la rigueur elles soient un peu inclinées entr'elles, puisque tous les corps graves tendent à un même point qui est le centre de la terre ; mais nous en sommes trop éloignés, pour avoir à craindre aucun mécompte, en négligeant cette inclinaison.

Pour écarter tout ce qui est en quelque façon étranger à notre objet présent, dans toute cette Leçon nous ferons abstraction des frottemens & de la résistance des milieux ; obstacles cependant dont on doit bien tenir compte dans la pratique, & qui, lorsqu'on les néglige, ou qu'on manque à les estimer selon leur valeur, causent des erreurs considérables dans les calculs que l'on fait sur le produit des machines, comme nous l'avons fait voir dans la troisié-

IX. LEÇON. me Leçon, en expliquant la premiére loi du mouvement.

PREMIERE SECTION.

Du Lévier.

UN lévier considéré mathématiquement n'est autre chose qu'une ligne droite sans pésanteur qui régle les distances & les positions de la puissance, de la résistance & du point d'appui. Si dans la pratique cette ligne devient pésante & courbe, son poids doit être considéré comme faisant partie de la puissance ou de la résistance, & sa courbure peut toujours se réduire à la distance qu'elle met entre ces deux forces, eu égard à leurs directions, ou bien entre l'une des deux & le point d'appui : ainsi *E F G*, *Fig.* 2. équivaut à *e g* ; & si les deux parties *E F*, *F G*, sont de fer, ou de quelqu'autre matiere sensiblement pésante, chacune fait partie de la masse *E*, ou *G*, qu'elle soutient.

On distingue ordinairement trois genres de léviers par les différentes positions

positions que l'on peut donner à la puissance, à la résistance & au centre du mouvement ou point d'appui. On pourroit, en suivant l'exemple de quelques Auteurs célebres *, regarder comme deux autres puissances, ce que j'ai nommé résistance & point d'appui ; & alors la distinction des léviers en trois genres n'auroit plus lieu : mais il m'a semblé qu'il y avoit quelque avantage à suivre la méthode la plus usitée dans une leçon, qui est moins un traité de méchanique, qu'un simple exposé des principes de cette science. Pour représenter donc ces trois sortes de léviers, je désignerai la puissance ou force motrice par une main *A*, la résistance par un poids *B*, & le point d'appui par un pivot *C*. *

IX. LEÇON.

* *Traité de Méchanique de M. de la Hire.*

* *Fig.* 3, 4, 5, 6.

Les léviers du premier genre sont ceux où le point d'appui est entre la puissance & la résistance. *Fig.* 3.

Ceux du second genre ont la résistance entre le point d'appui & la puissance. *Fig.* 4.

Dans ceux du troisiéme genre, la puissance est placée entre le point d'appui & la résistance. *Fig.* 5.

IX. LEÇON.

Les espéces de chaque genre se distinguent par la distance qu'il y a de la puissance au point d'appui, relativement & par comparaison à celle qui est entre ce même point & la résistance. Si, par exemple, le pivot, au lieu d'être en *C* étoit en *c*, *Fig*. 3. ce seroit toujours un lévier du premier genre, mais l'espece seroit différente ; ainsi pour s'exprimer exactement sur quelque lévier que ce puisse être, on dira : « Il est de tel ou » tel genre, & les distances des for» ces résistantes & motrices au point » d'appui, sont entr'elles dans le rap» port de 2 à 3, ou à 4, ou à 5, &c. »

La distance de ces deux forces au point d'appui détermine le chemin qu'elles ont à faire, & par conséquent leurs vîtesses ; car, puisque l'une ne peut se mouvoir sans l'autre, il est évident que la puissance, *A*, *Fig*. 6. n'employera pas plus de tems à parcourir l'arc *A a*, que la résistance en consumera pour achever le sien *B b*. Quand les tems sont égaux, les vîtesses doivent se comparer par les espaces parcourus ou à parcourir, comme nous l'avons enseigné *, en par-

* *Tome I. pag.* 193. & *suiv.*

lant des propriétés du mouvement. Ainsi comme les arcs *Aa*, & *Bb*, suivent entr'eux le rapport de leurs rayons *AC*, & *BC*, il est certain qu'en connoissant ces deux derniéres distances, on sçait la vîtesse de la puissance & celle de la résistance. D'où il suit :

1°. Qu'un poids agissant comme puissance ou comme résistance, par un lévier placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il est plus éloigné du point d'appui.

2°. Que deux masses égales opposées l'une à l'autre sur un semblable lévier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles sont à égales distances du point d'appui, & qu'elles agissent en sens contraires.

3°. Que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs distances au point d'appui sont réciproquement comme les masses.

Ces trois propositions deviendront sensibles par des experiences.



IX. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 7. représente un plan vertical élevé sur une base, & percé à jour par une raînure *H I* ; la piéce *K* est une espéce de chasse qui peut se placer à différens endroits de la raînure, par le moyen d'une queue à vis qui traverse celle-ci, & qui s'arrête par derriére avec un écrou. *L M*, est une petite boëte de métal qui se meut sur deux pivots dans la chasse, & dans laquelle on fait glisser le lévier *NO*, pour l'arrêter à tel endroit qu'on souhaite de sa longueur : par ce moyen le point fixe change de place, non seulement sur le plan, mais même sur le lévier ; les extrémités de ce lévier sont percées pour recevoir des poids qui portent chacun une petite boucle en dessous pour en recevoir d'autres. *P* est une masse qui est enfilée par le lévier, & que l'on y arrête à tel endroit qu'il convient, pour le mettre en équilibre avec lui-même, dans les cas où le point d'appui n'est pas placé au milieu de sa longueur.

Q eſt une poulie très-mobile ſur ſon axe, dont la mouffle ſe place en fourchette, & à telle diſtance que l'on veut ſur le haut du plan vertical; cette poulie eſt embraſſée par un cordon qui porte d'un côté un poids, & de l'autre un crochet pour ſoutenir le lévier, dans les cas où le point fixe ſe trouve placé à l'une des deux extrémités.

Avec cette machine aînſi préparée, on peut mettre en expérience les léviers de tout genre & de toutes eſpéces, varier la puiſſance & la réſiſtance, non ſeulement quant à leurs diſtances au point d'appui, mais encore quant à leurs maſſes, ou quantités abſolues; & par le moyen du contrepoids *P*, le lévier peut toujours reſſembler à une ligne mathématique, inflexible & ſans poids.

Ces moyens étant donc ſuppoſés, nous nous abſtiendrons de les faire reparoître dans nos figures, & nous repréſenterons chaque expérience par des lignes, afin d'écarter de nos explications ce qui eſt étranger, & de n'occuper l'attention du Lecteur que de l'objet dont il ſera queſtion.

IX. LEÇON. Ayant donc diſpoſé le lévier de maniére que ſon point fixe ſe trouve entre deux poids, comme il eſt repréſenté par la *Fig*. 8. on remarquera ce qui ſuit.

EFFETS.

1o. Si le point fixe eſt en *a*, c'eſt-à-dire, qu'il partage le lévier en deux bras égaux, une puiſſance d'une livre ſoutient une réſiſtance de même poids.

2o. Si le point fixe eſt en *b*, le bras de la puiſſance eſt deux fois auſſi long que celui de la réſiſtance; une livre en *P* ſoutient deux livres en *R*.

3o. Si le point fixe eſt en *c*, il y a trois fois auſſi loin de *c* en *p*, que de *c* en *r*; la même livre employée en *P* en ſoutient trois placées en *R*.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut diſpoſer la machine que nous avons décrite *, de maniére que le point fixe ſe trouve à l'une des deux extrémités du lévier, & que l'anneau dans lequel paſſe le lévier

* *Fig*. 7.

ſoutenu par la puiſſance *P*, puiſſe ſe placer d'abord au point 2, & enſuite au point 1. *Voyez la Fig. 9.*

Effets.

Dans le premier cas, *R* péſant une livre, fait équilibre à *P*, dont le poids eſt une livre $\frac{1}{2}$.

Dans le ſecond cas, pour avoir équilibre, il faut mettre les deux poids dans le rapport de 3 à 1, c'eſt-à-dire, que la maſſe *P* qui n'eſt éloignée du point d'appui que d'un eſpace, doit péſer 3 livres pendant que l'autre *R* qui eſt à la troiſiéme diſtance, n'en péſe qu'une.

Ce lévier qui eſt du troiſiéme genre, repréſente auſſi celui du ſecond, ſi l'on conſidére comme réſiſtance, ce que nous avons regardé comme puiſſance.

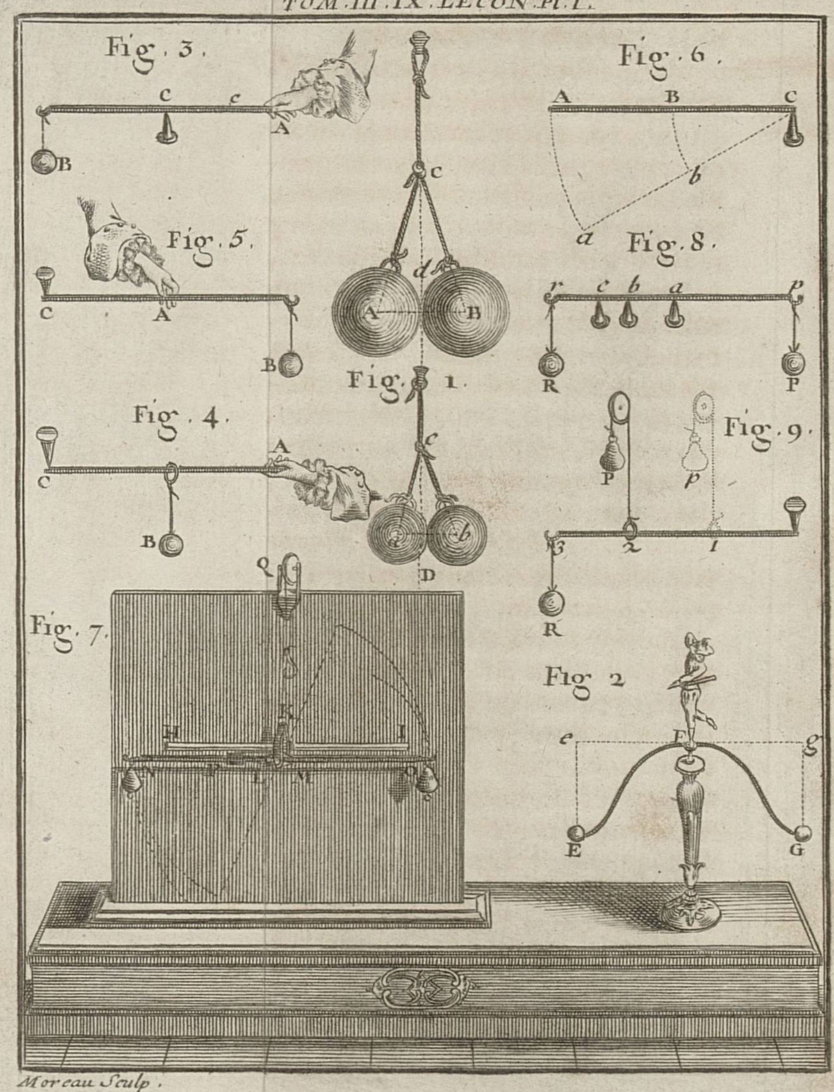
Explications.

Les principes que j'ai établis d'abord, laiſſent peu de choſes à dire pour expliquer les faits qui ſont rapportés dans ces deux premiéres expériences. L'action ou la force d'un corps ſe meſure par la quantité de

IX. LEÇON.

mouvement qu'il a, ou qu'il auroit, s'il n'étoit pas retenu; or la quantité du mouvement résulte de la masse multipliée par la vîtesse. Sur un même lévier la puissance & la résistance ne peuvent se mouvoir qu'en même tems; leurs vîtesses, c'est-à-dire, celles qu'elles ont, ou qu'elles auroient, si le mouvement avoit lieu, ne peuvent donc différer que par les espaces. S'il y a équilibre entre 1 livre & 1 livre, sur un lévier horizontal partagé en deux bras égaux par le point d'appui, comme on l'a vû dans le premier résultat de la premiére expérience, c'est que ce lévier ne peut se mouvoir, sans que les deux poids parcourent des arcs égaux en même tems, ou (ce qui est la même chose) sans qu'ils ayent la même vîtesse; égalité de vîtesses, & égalité de masses de part & d'autre, produisent des efforts égaux, qui se détruisent réciproquement, parce qu'ils se font en sens contraires, ce que l'on appelle équilibre.

Dans le second résultat, on voit une livre qui en soutient deux, parce qu'elle est tellement placée qu'elle auroit


Fig. 3.
C
c
A
B
Fig. 6.
A
B
C
b
a
Fig. 5.
C
A
B
Fig. 8.
r
c
b
a
p
R
P
d
A
B
Fig. 1.
Fig. 4.
A
C
B
a
b
D
Q
Fig. 9.
P
p
3
2
1
R
Fig. 7.
H
I
K
N
P
L
M
O
Fig 2
e
F
g
E
G
Moreau Sculp.

auroit deux fois plus de vîtesse que le poids opposé ; 1 de masse multiplié par 2 de vîtesse, équivaut à 1 de vîtesse multiplié par 2 de masse. Il est facile d'appliquer ce calcul aux autres effets.

COROLLAIRE.

Puisqu'une puissance appliquée à un lévier croît toujours à mesure qu'elle s'éloigne du point d'appui, comme on l'a pû voir par les expériences précédentes ; on doit en tirer cette conséquence, qu'une très-petite force, par le moyen d'un lévier assez long, peut faire équilibre ou vaincre une autre force infiniment plus grande. Archimédes avoit donc raison de dire qu'il enleveroit la terre entiére, s'il avoit un point fixe qui en fût séparé : car en établissant sur cet appui un lévier dont le bras du côté de la puissance, surpassât en longueur celui auquel il auroit attaché le globe terrestre, autant ou plus que le poids de ce globe ne l'emporte sur la force d'un homme, il est évident par les principes établis ci-dessus, qu'il eût acquitté sa promesse,

IX. LEÇON. par une démonſtration, ſans doute; car il eſt inutile de dire que le lévier dont il faudroit faire uſage dans une telle opération, ne peut jamais paſſer que pour un être de raiſon, comme le point fixe qu'il demandoit.

APPLICATIONS.

Les léviers ſont d'un uſage ſi commun, non ſeulement dans les Arts, mais même dans la vie civile & dans le méchaniſme de la nature, qu'on les rencontre preſque partout, pour peu qu'on y faſſe attention. Nous nous bornerons à quelques exemples, pour ne point entrer dans un détail trop long & ſuperflu.

Les Charpentiers, les Maçons & autres Ouvriers qui ont à remuer de grandes pierres, ou de groſſes piéces de bois, ſe ſervent très-ſouvent d'une barre de fer arrondie dans preſque toute ſa longueur, un peu coudée & applatie par un bout. Cet inſtrument qu'ils appellent communément *pied de chevre*, s'employe principalement de deux maniéres. Quelquefois après avoir engagé l'extrémité applatie, qu'on nomme *la pince*,

entre la piéce qu'on veut mouvoir, & le terrain ſur lequel elle repoſe, on fait porter le coude *A*, *Fig.* 10. ſur quelque corps dur, & alors en appuyant ſur l'autre bout de la barre *B*, on ſouléve le fardeau, d'une petite quantité à la vérité, mais aſſez pour donner la liberté de gliſſer deſſous une corde, un rouleau, &c. ce qui ſuffit le plus ſouvent. D'autres fois auſſi on avance un peu plus la pince ſous la piéce qu'on veut remuer, & en ſoulevant la barre, on fait effort contre la partie *C* qui repoſe deſſus. *Fig.* 11.

Le pied de chévre, comme l'on voit, n'eſt autre choſe qu'un lévier, qui eſt du premier genre dans l'uſage que nous avons cité d'abord; car le point *A*, qui eſt l'appui, ſe trouve placé entre la puiſſance & la réſiſtance. Dans l'autre uſage, il eſt du ſecond genre, puiſque la réſiſtance ſe fait au point *C*, entre la puiſſance & le bout de la pince qui eſt appuyé par terre.

Comme cet inſtrument s'employe pour l'ordinaire à ſoulever de grands fardeaux, l'endroit du coude qui ſert

IX. LEÇON.

de point d'appui, ou qui reçoit l'effort de la résistance, est toujours fort loin du bout que l'on tient à la main; ainsi la puissance, toujours beaucoup plus éloignée du point d'appui, que la résistance, a sur elle un avantage considérable par cette position.

Les rames des Bateliers sont des léviers du second genre, dont on appuye un bout contre l'eau, pendant que la puissance appliquée à l'autre bout porte son effort à l'endroit du bateau où la rame est attachée : cet endroit partage la longueur de la rame en deux parties, dont l'une frappe l'eau, pendant que l'autre est mise en mouvement par les bras du Batelier : il seroit sans doute avantageux que l'une & l'autre fussent fort longues ; la premiére, parce qu'elle répondroit à un plus grand volume d'eau, & que le point d'appui en deviendroit plus fixe ; la seconde, parce qu'elle mettroit une plus grande distance entre la puissance & le point d'appui : mais il y a aussi des raisons qui obligent de borner cette longueur de part & d'autre selon les circonstances.

IX. LEÇON.

On ne peut allonger les rames du côté de la puiſſance ſans exiger d'elle un plus grand mouvement; celui d'un homme eſt borné à une certaine étendue, au-delà de laquelle il travaille avec trop de fatigue : on en peut juger par la manœuvre des forçats lorſqu'ils ſont quatre ou cinq appliqués à la même rame; ceux qui ſont au bout, quoique les plus robuſtes, peuvent à peine réſiſter quelques années à ce violent exercice. Dans les petits bateaux où un ſeul homme fait agir deux rames, cette même longueur eſt encore bornée par le peu de diſtance qu'il y a d'un bord à l'autre; car le batelier qui eſt aſſis au milieu de cet eſpace, eſt la puiſſance commune à l'une & à l'autre rame.

Les rames qui ſont fort allongées du côté de l'eau, exigent une navigation fort libre ; on ne peut guères en faire uſage dans les petites riviéres, dans celles qui ont beaucoup de ſinuoſités, qui ſont remplies d'iſles & de rochers, ou même dans les ports qui ſont très-fréquentés, à cauſe des embarras qui s'y trouvent ; c'eſt par ces raiſons ſans doute que les

IX. LEÇON.

rames varient & de formes & de dimenſions, ſuivant les circonſtances des lieux, & les différentes maniéres de les employer.

Le couteau du Boulanger eſt encore un lévier du ſecond genre, lorſqu'arrêté par un bout ſur une table, & tournant autour d'un point fixe, il eſt porté par la main qui tient le manche, contre un pain qu'il entame.

La baſcule eſt un lévier du premier genre qu'on reconnoît d'abord, lorſqu'on ſe repréſente une longue piéce de bois, appuyée par ſon milieu, & chargée à ſes extrémités de deux perſonnes, dont l'une eſt enlevée par l'autre, lorſqu'en touchant le terrain, du pied ou autrement, elle ſoulage d'une partie de ſon poids le bras du lévier où elle eſt.

Les ciſeaux, les pinces, les pincettes, les tenailles, ne ſont encore que des léviers aſſemblés par paires; l'effort de la main ou des doigts qui ménent les deux branches, doit être conſideré comme la puiſſance; le clou, ou ce qui en tient lieu, eſt un point fixe commun aux deux; & ce que l'on coupe, ou ce que l'on ſerre, devient la réſiſtance.

IX. LEÇON.

Ceux de ces inſtrumens qui ſont deſtinés à faire de grands efforts, comme les ciſailles des Chaudroniers ou des Ferblantiers, qui coupent des métaux, ont les branches fort longues par comparaiſon aux parties tranchantes qu'on nomme les *Couteaux* : de cette maniére la puiſſance agiſſant par un bras de lévier très-long, eſt capable de vaincre une réſiſtance fort grande. Par la raiſon du contraire, dans les pincettes qu'on nomme *Badines*, & qui n'ont d'autre effort à faire, que de tranſporter quelques charbons, cette légere réſiſtance ſe fait aux extrémités de deux longues branches, qui ſont des léviers du troiſiéme genre; l'endroit où ils ſe joignent par une charniére ou par un reſſort foible, doit être regardé comme le point d'appui; & la main qui les fait agir, eſt la puiſſance.

Les ciſeaux dont on ſe ſert pour découper, ont les branches fort longues, & les lames très-courtes; ce n'eſt pourtant pas qu'on ait beſoin d'une grande force pour couper du papier mince : mais comme dans la découpure on a ſouvent de petites

IX. LEÇON.

parties à réserver, il faut que l'on puisse arrêter à propos les ciseaux; & cela se peut faire facilement, quand le mouvement des doigts qui meut les branches, a beaucoup plus d'étendue que celui des lames.

Enfin les bras, les doigts, les jambes des animaux sont encore des léviers ou des assemblages de léviers, par lesquels la force des muscles est employée de la maniére la plus convenable & la plus avantageuse, soit pour transporter le corps, soit pour approcher de lui tout ce qui lui est nécessaire ou utile, soit pour en écarter tout ce qui lui seroit nuisible. Un Auteur célébre * a fait connoître en détail, & dans un Ouvrage exprès, ce qu'il y a de plus remarquable dans cet admirable Méchanisme; ceux qui ont du goût pour l'Anatomie y trouveront de quoi le satisfaire.

* *Borelli, de Motu Animalium.*

DANS les deux premiéres expériences, le lévier étant soutenu horizontalement, nous avons employé pour puissance & pour résistance des corps pésans dont les efforts se faisoient dans des directions verticales, c'est-à-dire, qu'elles faisoient des angles

droits avec la longueur du lévier au moment que ces forces commençoient à agir. Mais il peut arriver, & il arrive très-souvent, soit par la situation du lévier, soit par la nature des puissances qu'on employe, que leurs efforts se font obliquement; & comme en général toute force qui agit obliquement, a moins d'effet que celle dont l'action est directe, il est important de connoître ce qu'on doit attendre de cette obliquité dans l'usage des léviers.

Lorsque les directions de la puissance & de la résistance sont obliques à la longueur du lévier, il peut arriver qu'elles le soient toutes deux également; il peut se faire aussi que ces directions reçoivent différens dégrés d'obliquité, & que l'une ou l'autre soit plus ou moins inclinée au lévier: dans ces différens cas, voici ce qu'il y a de plus important à sçavoir.

1°. L'effort d'une puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsque sa direction est perpendiculaire au bras du lévier, par l'extrémité duquel elle agit. Ainsi le poids *B*, *Fig.* 12. ne suffiroit plus pour soutenir

IX. LEÇON.

celuiqui eſt en *A*, ſi, au lieu de péſer dans la direction *b B*, il faiſoit ſon effort obliquement, comme *b D*, ou *b E*.

2°. Deux forces qui agiſſent l'une contre l'autre, par les deux bras d'un même lévier, gardent entr'elles le même rapport, ſi leurs directions, de perpendiculaires qu'elles ſont, deviennent également obliques au lévier. C'eſt-à-dire, que ſi les poids *P*, *R*, *Fig.* 13. ſont en équilibre, cet état ſubſiſtera entr'eux, ſi leurs directions, s'inclinant au lévier, demeurent paralléles l'une à l'autre comme *ap*, *br*.

3°. Si ces directions reçoivent différens dégrés d'obliquité, de ſorte que l'une des deux faſſe avec le bras du lévier, un angle plus ou moins grand que l'autre; celle des deux qui s'écartera davantage de l'angle droit, toutes choſes égales d'ailleurs, rendra la puiſſance plus foible. Une force qui ne ſeroit donc que ſuffiſante pour ſoutenir la maſſe *Q*, en agiſſant ſelon la direction *P p*, *Fig.* 14. ne le ſeroit plus ſi elle ſortoit de cette ligne; & elle le ſeroit d'autant moins, qu'elle

s'éloigneroit davantage en se plaçant aux points *c*, *d*, *e*, *f*. Trois expériences rendront ces propositions évidentes.

III EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 15. représente un plan bien uni & élevé verticalement sur une base ; en *F*, on a fixé une chasse assez semblable à celle d'une balance, pour servir de soutien à un lévier *G H*, qui s'y meut librement sur deux pivots ; *I K*, est une régle qui glisse dans une coulisse, & qui porte en son extrémité une poulie qui est très-mobile. On fait passer sur cette poulie un cordon fort menu qui tient d'une part à l'extrémité *H* du lévier, & qui est garni par l'autre bout d'un petit crochet qui sert à suspendre un poids. Par le moyen de la poulie & de la régle mobile sur laquelle elle est fixée, on peut varier comme l'on veut la direction du cordon, & par conséquent celle de la puissance qu'on y attache.

On met d'abord en équilibre deux

IX. LEÇON.

poids dans des directions perpendiculaires aux bras du lévier ; & ensuite en faisant passer le cordon sur la poulie, on rend oblique la direction de l'un des deux poids comme *a P*, ou *a D*, *Fig.* 16.

Effets.

Lorsque la direction du cordon n'est plus perpendiculaire au lévier, l'effort de la puissance *P*, ne suffit plus pour soutenir le poids de l'autre part, & l'équilibre ne se rétablit point, jusqu'à ce que le cordon revienne dans la direction *a C*.

Explications.

Le poids étant en *C*, fait équilibre à la résistance *E*, parce qu'il agit directement contr'elle; car sa direction *a C*, étant paralléle à *b E*, c'est comme si ces deux forces étoient toutes deux opposées dans la même ligne. Ce lévier du premier genre dont les bras sont égaux, ne fait rien autre chose que de mettre les deux forces en opposition : si l'une des deux *E*, tendoit naturellement de bas en haut, on pourroit la placer en *a*, & l'é-

quilibre ſubſiſteroit de même entr'elles, pourvû que leurs directions reſtaſſent directement contraires. Cette oppoſition directe eſt donc une condition abſolument néceſſaire : par conſéquent, lorſque l'une des deux forces a ſa direction perpendiculaire à l'un des bras du lévier, toutes choſes égales d'ailleurs, il faut que l'autre pour lui être égale faſſe auſſi un angle droit avec l'autre bras ; & ſi elle s'écarte de cette direction d'un côté ou de l'autre, ſon effort doit être moins grand. Suppoſons par exemple, que la puiſſance agiſſe ſelon la ligne *a d* ; il eſt évident que la réſiſtance *E*, ne ſeroit nullement ſoutenue : elle le ſera donc d'autant moins que la direction de la puiſſance ſera plus inclinée au bras du lévier par lequel elle agit, ou qu'elle s'écartera davantage de la ligne *a C*, perpendiculaire à ce même lévier.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut mettre le lévier *G H*, de la machine repréſentée par la *Fig.* 15.

IX. Leçon.

dans une position oblique comme *h i*, & suspendre aux extrémités deux poids égaux.

Effets.

La direction de la puissance & de la résistance étant celle qui est naturelle à tous les corps graves, est la même de part & d'autre ; elle forme avec le lévier incliné, des angles semblables, *l i F*, *h F k* ; cette égalité d'angles subsiste, quelque dégré d'inclinaison qu'on fasse prendre au lévier, & les deux poids conservent toujours leur équilibre.

Explications.

*Fig. 15.

Lorsque le lévier étoit horizontal comme *G H* *, la distance perpendiculaire à la direction des puissances, étoit la même que la longueur des bras *E G*, *F H*, qui étoit égale de part & d'autre ; le lévier s'étant incliné comme *h i*, cette distance à la direction perpendiculaire de chaque poids, a diminué des quantités *l H*, *k G* ; mais ces quantités sont égales entr'elles, par conséquent les restans *lF*, *kF*, conservent entr'eux le même

rapport qu'auparavant ; c'eſt pourquoi l'inclinaiſon du lévier n'a rien changé à l'équilibre des deux poids.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Par le moyen de la machine * qui a ſervi dans les deux expériences précédentes, on met en équilibre deux poids égaux aux bras d'un lévier horizontal ; enſuite on fait paſſer le cordon qui ſuſpend l'un des deux poids ſur la poulie *K*, que l'on fait avancer plus ou moins, pour donner à ce poids ſucceſſivement les directions *a d*, *a f*, *Fig.* 17.

* *Fig.* 15.

EFFETS.

Plus la direction de la puiſſance devient inclinée au lévier, plus il faut ajoûter à ſa maſſe pour la maintenir en équilibre avec celle de l'autre part : c'eſt-à-dire, que ſi elle étoit d'une livre lorſqu'elle étoit dans une direction perpendiculaire au lévier, il en faut une & demie quand la direction eſt *a d*, & trois quand elle eſt *a f*.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Puiſque l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſqu'elle agit ſelon la direction *ap*, perpendiculaire au lévier, comme nous l'avons prouvé par la troiſiéme expérience ; c'eſt une conſéquence néceſſaire qu'elle ait moins de force, lorſqu'on l'employe dans toute autre direction : & comme elle n'avoit qu'une force égale à la réſiſtance, étant dans la poſition la plus avantageuſe; elle doit être inſuffiſante, lorſqu'elle reçoit les directions obliques *ad*, *af*; c'eſt pourquoi l'on ne peut alors entretenir l'équilibre qu'en compenſant par une augmentation de maſſe dans la puiſſance, ce qu'elle perd par l'obliquité de ſa direction.

Pour juger de cette diminution qu'il faut compenſer, ou pour connoître de combien la puiſſance s'affoiblit par les differens dégrés d'obliquité qu'on fait prendre à ſa direction, prolongeons ces directions par des lignes indéfinies *ai*, *ak*. Imaginons enſuite que le bras du lévier *ac*, tourne ſur ſon point d'appui, & qu'il décrit

décrit une portion de cercle, *a g h i k*; il y aura un point dans ſa longueur *m* ou *n*, ſur lequel la direction prolongée tombera perpendiculairement : c'eſt donc ſur ce point que la puiſſance exerce toute ſa force ; mais ce point, comme l'on voit, n'eſt plus à l'extrémité du bras du lévier : ſa diſtance au point d'appui eſt beaucoup moindre ; en un mot, quand la direction de la puiſſance eſt oblique comme *a d*, c'eſt comme ſi elle étoit perpendiculaire au point *b* ; & lorſqu'elle agit par la ligne *a f*, elle n'a que la force qu'elle auroit, ſi elle étoit ſuſpendue au point *e* : or ces deux points *e*, *b*, partagent ce bras du lévier en trois parties égales, & puiſque l'autre bras eſt de même longueur, il a trois parties ſemblables à celles-ci. La maſſe *R*, étant d'une livre multipliée par trois de diſtance au point d'appui, donne 3, qui eſt la valeur de la réſiſtance ; ſi nous ſuſpendons une autre maſſe en *b*, pour ſervir de puiſſance, il faut qu'elle ſoit d'une livre & demie, qui multipliée par deux de diſtance, égalera le produit de l'autre part : & ſi nous la pla-

IX. Leçon.

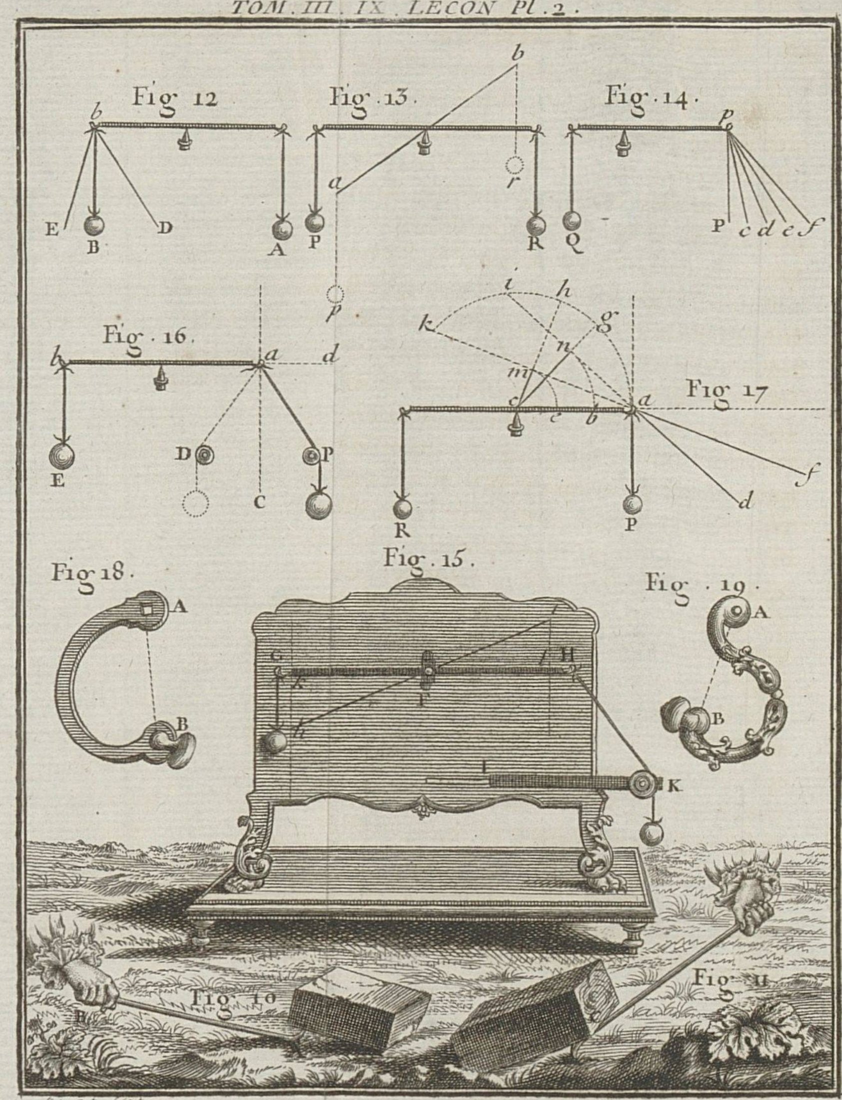
IX. LEÇON.

çons en *e*, la diſtance au point d'appui n'étant plus que 1, il faut néceſſairement 3 de maſſe pour faire équilibre.

Ces maſſes 1 livre $\frac{1}{2}$ & 3 liv. ſont comme l'on voit en raiſon réciproque des diſtances *b c*, *e c*, que l'on met entr'elles & le point d'appui ; elles ont auſſi le même rapport avec les lignes *cm*, & *c n*, qui ſont doubles l'une de l'autre ; & comme celles-ci ſont les ſinus des angles *c a m*, *c a n*, on peut comprendre d'une maniére plus générale tout ce que nous venons d'expliquer, par cette propoſition : *les différens efforts d'une puiſſance appliquée à l'extrémité d'un bras de lévier ſelon différentes directions, ſont entr'eux comme les ſinus des angles que font ces directions avec le lévier.*

Il ſuit auſſi de cette propoſition, que l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, quand la direction eſt perpendiculaire au lévier, comme nous l'avons déja prouvé * : car alors, elle fait un angle droit *P a c*, dont le ſinus eſt *a c*, c'eſt-à-dire, le rayon même ou le bras entier du lévier.

* *III. Exper. p.* 35.


Fig 12
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 16.
Fig 17
Fig 18.
Fig. 15.
Fig. 19.
Fig. 10
Fig. 11
Brunet fecit

APPLICATIONS.

Il y a quantité de machines & d'inſtrumens qu'on fait mouvoir par le moyen d'un bras de lévier, qu'on nomme *manivelle.*

Quelque figure qu'on lui donne, ſoit qu'on la courbe comme celle du gagne-petit, *Fig.* 18. & la plûpart de celle des rouets qu'on fait tourner avec le pied, ſoit qu'on la façonne en S, *Fig.* 19. comme le ſont ordinairement celles des vielles; elle ſe réduit toujours à un bras de lévier droit, dont la longueur eſt déterminée par la diſtance qu'il y a entre le manche *B* & l'œil *A*, qui reçoit le bout de l'arbre tournant.

Dans les cas où la réſiſtance n'eſt pas bien conſidérable, il importe peu quel angle faſſe la direction de la puiſſance avec la ligne *A B*; mais lorſqu'il faut mener de grandes manivelles, avec beaucoup de force, on s'apperçoit bien-tôt que l'effort avec lequel on agit, n'a pas un avantage égal dans tous les points de la révolution. Cette inégalité vient des différentes maniéres dont la puiſſance

IX. LEÇON.

ſe trouve dirigée, au bras du lévier pendant qu'il tourne : c'eſt ce que l'on concevra facilement, ſi l'on imagine que la manivelle *C H*, *Fig.* 20. reçoit ſon mouvement circulaire d'une régle *D H*, qui lui eſt jointe, & qui la pouſſe & la tire alternativement. Car ſelon ce que nous avons prouvé par la troiſiéme expérience, cette régle agit avec tout l'avantage qu'elle peut avoir, lorſqu'elle fait avec la manivelle un angle droit comme *CHD*, ou *Cik*, ſoit en pouſſant, ſoit en tirant. Mais lorſque la manivelle eſt aux points *b*, ou *e*, on voit que la direction de la puiſſance, repréſentée par la régle, fait avec elle des angles de plus en plus aigus, & que cette obliquité diminue beaucoup de l'effort.

Ce que nous diſons de la régle *D H*, il le faudroit dire du bras d'un homme appliqué à une manivelle, s'il ne faiſoit que tirer & pouſſer dans la même direction : mais il fait plus ; lorſque ſon effort s'affoiblit par une direction déſavantageuſe en pouſſant, il avance ſon corps, de ſorte qu'une partie de ſon poids ſe porte

dans la direction *bf*, ou *eg*; lorsqu'il tire, il se baisse & se renverse un peu; & par ces différens moyens, il redresse, pour ainsi dire, la direction de la puissance, & l'angle qu'elle fait avec la manivelle demeure plus ouvert qu'il ne le seroit, sans ces mouvemens du corps, qui se font sans attention, & par des ouvriers les plus grossiers, qui n'ont pris sur cela que les leçons de la nature.

Mais ces sortes de mouvemens ne se font pas sans fatigue : il est toujours vrai de dire, que celui qui tourne la manivelle, n'est en pleine force que dans certaines parties de la révolution : c'est apparemment pour cette raison que dans les machines qui se meuvent avec deux manivelles, on est dans l'usage d'opposer la longueur de l'une à celle de l'autre, comme *EF*, & *GH*, *Fig.* 21. afin que des deux hommes qui les menent, l'un se trouve dans une position favorable, pendant que l'autre travaille avec désavantage : mais cette disposition ne me paroît pas la meilleure qu'elle puisse être ; j'aimerois mieux que les deux manivelles fissent en-

IX. LEÇON.

ſemble un angle droit, que d'être oppoſées directement. Car ſi l'on partage la révolution entiére en quatre quarts, on peut voir par la *Figure* 20. qu'un homme qui éléve la manivelle d'*l* en *m* par l'action des muſcles, ou qui l'abaiſſe de *b* en *n* par l'effort de ſon poids, a beaucoup plus de force que quand il la porte en avant d'*m* en *b*, ou qu'il la tire à lui d'*n* en *l*: mais ces deux derniéres parties comme les premiéres, ſont directement oppoſées entr'elles; quand on oppoſe de même les deux manivelles, ceux qui les font agir, ſe trouvent donc en même tems en pleine force, & en même tems auſſi dans les poſitions les moins favorables: la même choſe n'arriveroit pas, ſi les manivelles faiſoient entr'elles un angle droit; l'un des deux parcourroit l'arc *l m*, pendant que l'autre paſſeroit par l'eſpace *m b*.

Pour changer la direction du mouvement, il arrive ſouvent, qu'au lieu d'employer un lévier droit, on diſpoſe les deux bras de maniére qu'ils font un angle au point d'appui, comme *I K L*, *Fig*. 22. Ces léviers angu-

laires, qu'on nomme auſſi *manivelles coudées*, ſont fort en uſage pour les pompes, pour les mouvemens des ſonnettes qu'on place dans les appartemens, pour la ſonnerie des horloges & des pendules, & dans une infinité d'autres occaſions où l'action du moteur ne peut ſe tranſmettre que par des voies indirectes. Ils ont les mêmes propriétés qu'un lévier droit; car lorſqu'en tournant, ces deux bras diſpoſés en équerre ſe trouvent obliques aux directions *m l*, *i n*, de la puiſſance & de la réſiſtance, cette obliquité eſt égale de part & d'autre; *o K l*, *i K h*, ſont ſemblables ; en un mot, les diſtances du point d'appui *K*, aux directions perpendiculaires *m o*, *i h*, ſont entr'elles dans les mêmes rapports que *L K*, & *I K*.

IX. LEÇON.

Ce que nous avons nommé juſqu'ici le point d'appui, doit être conſidéré comme une troiſiéme puiſſance qui fait équilibre à la force motrice ou à la réſiſtance, ou qui concourt avec l'une des deux pour porter l'effort de l'autre : dans les léviers du premier genre, par exemple, le point d'appui ſoutient l'effort des

IX. LEÇON.
deux forces qui ſont oppoſées de part & d'autre ; dans ceux du ſecond & du troiſiéme genre, il ne porte qu'une partie de l'une des deux.

Ce n'eſt pas toujours un point fixe & inébranlable qui ſert d'appui ; le plus ſouvent ce ſont des corps flexibles, ou qui peuvent s'écraſer, ou bien des corps animés, dont la réſiſtance n'eſt point à l'épreuve de tout effort. Lorſqu'une poutre, par exemple, repoſe par ſes extrémités ſur les deux murs d'un bâtiment, ſon propre poids ou celui dont elle eſt chargée, les feroit s'écrouler s'ils n'étoient bâtis aſſez ſolidement. Les mulets qui portent des brancarts ſuccombent ſous la charge quand elle excéde leurs forces. Il eſt donc important de ſçavoir de combien eſt chargé le point d'appui, ou ce qui en fait l'office, lorſque deux autres forces agiſſent l'une contre l'autre ſur le même lévier, afin de le pouvoir mettre en proportion avec l'effort qu'il doit ſoutenir: & comme ce point d'appui pourroit bien être de nature à ne pas réſiſter également dans toutes ſortes de directions, il faut examiner

minér aussi comment se dirige l'effort qu'il soutient par les différentes directions qu'on peut donner à la puissance & à la résistance. Nous avons fait voir précédemment, que l'action d'une puissance quelconque appliquée au bras d'un lévier, résulte de deux choses : 1°. De sa masse, ou du poids auquel elle équivaut, si c'est un ressort, l'effort d'un animal, ou toute autre force qui n'agit point en vertu de la pésanteur : 2°. De sa distance au point d'appui ; & nous avons fait connoître d'où il faut compter cette distance. * L'effort qui vient de la masse & qu'on peut nommer *absolu*, est limité ; une livre, ou l'action d'une puissance équivalente à une livre, lorsqu'elle pése sur le bras d'un lévier, dans la direction la plus avantageuse, ne peut que faire équilibre à un pareil poids qui lui est opposé avec les mêmes circonstances. Mais l'effort qui vient de la distance au point d'appui peut croître à l'infini ; de sorte que si l'un des deux bras étoit 100 fois aussi long que l'autre, une livre deviendroit équivalente à 100. Quelle sera donc

IX. LEÇON.

* *V. Exp. Fig. 17.*

IX. LEÇON.

la charge ſur le point d'appui, premiérement, s'il y a équilibre avec égalité de maſſe ; ſecondement, ſi les maſſes ou les forces ſont en équilibre par l'inégalité de leurs diſtances au point d'appui ?

Pour répondre à la premiére queſtion, je dis que ſi les directions de la puiſſance & de la réſiſtance ſont paralléles entr'elles, le point d'appui ſe trouve chargé de la ſomme des deux forces abſolues, & ſon effort ſe fait dans une direction paralléle à celles de la puiſſance & de la réſiſtance.

Mais ſi les directions de deux forces oppoſées ſont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort abſolu ; il en porte d'autant moins qu'elles ſont plus inclinées au lévier ; & ſa réſiſtance tend au point de concours de ces deux directions : deux expériences ſerviront d'éclairciſſemens & de preuves.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au revers de la machine qui eſt

représentée par la *Fig.* 15. on a fixé, à deux pouces de distance du plan, les poulies *A* & *B*, *Fig.* 23. qui sont très-mobiles sur leurs axes ; & par le moyen desquelles on suspend horizontalement un lévier d'acier *D E*, que l'on tient en équilibre avec les deux petits poids *p*, *r* ; on suspend ensuite au poids *C* un poids de 4 onces, & aux bouts des cordons deux autres poids *P*, *R*, qui pésent chacun deux onces.

EFFETS.

Tout étant ainsi disposé, le poids qui est en *C* tient les deux autres *P*, *R*, en équilibre ; si l'on ôte les deux petits, *p*, *r*, le poids de 4 onces descend par la ligne *C I* ; il remonte au contraire par la ligne *C F*, si l'on ajoûte également aux masses *P*, *R*.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Cette expérience se prépare comme la précédente, excepté que le lévier *IK*, *Fig.* 24. est plus court que *D E*, *Fig.* 23. & que le poids *L* n'est que de 3 onces.

IX. LEÇON.

Effets.

Les deux directions *K N*, *IQ*, des deux puissances *P*, *R*, étant obliques au lévier, à quelque dégré d'obliquité que ce soit, le poids *L* est toujours moindre que 4 onces pour faire équilibre aux deux autres qui pésent chacun deux onces : si les directions *K N*, *I Q*, deviennent moins obliques au lévier, comme *NO*, *QS*, il faut augmenter la masse *L* pour conserver l'équilibre ; & quand ce poids descend ou remonte, c'est toujours par la ligne *L M*.

Explications.

Dans ces deux derniéres expériences, on peut regarder le poids *P* comme la puissance, *R* comme la résistance, & la masse qui est suspendue au point *C*, ou *L*, comme la valeur de l'effort qui se fait au point d'appui lorsque tout est en équilibre ; car il est évident que sans ce dernier poids le lévier seroit emporté de bas-en-haut par les deux autres puissances. Or il faut 4 onces au point *C*, quand les deux masses *P*, *R*, sont chacune

de deux onces, & que leurs actions sont toutes deux dans des directions perpendiculaires au lévier, comme *AD*, *BE*; * nous avons donc eu raison de dire qu'en pareil cas le point d'appui est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance; & puisque le poids qui représente l'effort du point d'appui se meut dans la ligne *IF*, quand il devient plus fort ou plus foible; c'est une marque qu'il agit suivant cette direction, qui est, comme nous l'avons annoncé, paralléle à celles de la puissance & de la résistance.

* Fig. 23.

Dans l'autre expérience, on voit encore la preuve de ce que nous avons avancé; le poids qui suffit pour arrêter le point *L* du lévier contre les efforts qui se font en *I* & en *K*, n'est jamais de 4 onces, comme il faut qu'il le soit, quand les directions des puissances sont perpendiculaires au lévier; ce qui prouve bien que le point d'appui n'est plus chargé de la somme entiére des deux masses *P*, *R*, & cela doit être ainsi, puisque, comme nous l'avons prouvé & expliqué, l'action d'une puissance est

IX. LEÇON.

d'autant diminuée, que sa direction est oblique au bras du lévier par lequel elle agit : enfin l'effort du point d'appui se dirige au point *M*, parce que c'est-là que se réunissent, par leurs tendances, les deux forces ausquelles il résiste.

Quant à la seconde question, sçavoir quel est l'effort qui se fait sur le point d'appui lorsque la puissance & la résistance se mettent en équilibre par des distances inégales entr'elles & le point d'appui : je réponds que cet effort n'est jamais plus grand que la somme des forces absolues ou des masses qui sont opposées ; c'est-à-dire, que si le poids d'une livre en soutient un de 12, parce qu'il agit par un bras de lévier qui est douze fois plus long que celui de l'autre part, le point d'appui ne peut jamais être chargé que de 13 livres, & non pas de 24 ; & son effort se dirige comme dans les cas précédens, parallélement aux directions des forces qu'il soutient, si ces directions sont paralléles entr'elles, ou bien directement au point de leur concours, si elles sont inclinées l'une à l'autre.

IX. LEÇON.

VIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur une même base *AB*, *Fig.* 25. on a élevé deux piliers qui glissent dans deux mortaises, de maniére qu'ils peuvent s'approcher & s'écarter l'un de l'autre ; *C*, *C*, sont deux poulies, sur chacune desquelles passe un petit cordon pour soutenir une petite tringle d'acier *EE*, par le moyen des deux petits poids *D*, *D*; la piéce *FG*, est une verge de fer qui est un peu entaillée en-dessous aux $\frac{3}{4}$ de sa longueur, & qui, par le moyen d'un poids que l'on attache en *F*, se met en équilibre avec elle-même, & avec les petits poids *D*, *D*, que l'on augmente autant qu'il le faut pour cet effet.

On suspend d'abord en *F*, un poids de 6 onces, en *G*, un autre poids de 2 onces ; & l'on ajoute aux petits contrepoids qui sont en *D*, *D*, deux masses de 4 onces chacune. Voyez la *Fig.* 26. où l'on a représenté, par des lettres de mêmes noms, celles de ces quantités seulement qui intéressent la théorie.

IX. LEÇON.

Effets.

Il y a équilibre par-tout : 1°. Entre les deux maſſes inégales qui ſont appliquées au lévier *fg*; 2°. Entre ce lévier qui eſt ainſi chargé, & les deux poids *d*, *d*, qui ſoutiennent le point d'appui *e e*, ou plutôt, qui repréſentent ſon effort ; & ſi l'on ſouléve un peu ces deux derniers poids, auſſitôt le point d'appui deſcend par la ligne *e K*.

IX EXPERIENCE.

Preparation.

Il faut écarter l'un de l'autre les deux piliers *A*, *B*; de la machine que nous avons décrite *, enſorte que la direction du cordon de chaque côté devienne oblique au lévier, comme *c e*, *c e*, *Fig.* 27. enſuite la verge *f g* ayant été avancée juſqu'aux deux tiers de la longueur de la tringle d'acier *e e*, on met en *L* & en *M* des maſſes telles qu'il les faut pour tenir le tout en équilibre.

* *Fig.* 25.

Effets.

Alors le poids *L* ſe trouve être de

8 onces, & celui qui eſt en *M*, de 4 onces, ce qui fait en ſomme 12 onces de maſſe ; & lorſqu'on diminue cette quantité, ou qu'on ſouléve ces deux poids, le point d'appui *H* deſcend en ſuivant la ligne *HI*, ce qui s'apperçoit facilement, ſi l'on place derriére un fil à plomb. La même choſe arrive, ſi l'on met en *H* un poids de 8 onces au lieu du lévier *fg* chargé de ſes deux poids.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Dans la huitiéme expérience, il y a équilibre entre une maſſe de 6 onces & une autre de 2 onces ; parce que celle-ci qui n'eſt que le tiers de l'autre eſt trois fois autant éloignée qu'elle du point d'appui ; & nous avons fait voir qu'en pareil cas l'excès de vîteſſe d'une part, compenſe l'excès de la maſſe de l'autre part : mais quoiqu'une puiſſance augmente à meſure que le bras du lévier devient plus long, il ne paroît pas que cet accroiſſement charge aucunement le point d'appui, puiſque l'effort qui ſe fait en *g**, quoiqu'équivalent au poids

* *Fig.* 26.

IX. LEÇON.

de 6 onces qui pése en *f*, ne produit point en *e* la somme de 12, mais seulement celle de 8, exprimée par les deux poids *d*, *d*, de 4 onces chacun, & égale aux deux masses qui sont en équilibre aux bras du lévier *fg*. La même chose se prouve encore plus directement par la neuviéme expérience, puisqu'en substituant en *H** un seul poids qui égale en masse celle du lévier chargé, les mêmes effets subsistent.

* Fig. 27.

Si rien ne soutenoit le lévier*, que les deux puissances restassent en équilibre entr'elles, & perpendiculaires aux extrémités *f* & *g*; il est évident que tous les points compris entre ces deux derniers, tomberoient par des lignes paralléles à celles des puissances; & c'est ce que l'on voit arriver lorsqu'on souléve un peu les deux poids *d*, *d*: le point d'appui descend par la ligne *e K*; cette ligne exprime donc sa tendance de bas-en-haut, ou la direction de son effort.

* Fig. 26.

On peut dire aussi que si ces puissances cédoient de part & d'autre à l'effort qui se fait au point *H**, pourvû qu'en cédant elles ne changeassent

* Fig. 27.

point de rapport, les deux extrémités du lévier décriroient en descendant les paralléles *e N*, *e O*, & le point d'appui se trouveroit toujours dans la ligne *H I*; son effort se fait donc dans cette ligne où les directions des puissances se joignent, lorsqu'elles sont inclinées entr'elles.

IX. Leçon.

APPLICATIONS.

Puisque l'on peut sçavoir combien il se fait d'effort sur un appui, ou sur tout ce qui en fait l'office, lorsque l'on connoît la valeur absolue des puissances & leurs directions à l'égard du lévier, par lequel elles agissent; on peut donc prévenir les accidens qui pourroient naître des disproportions, ou mettre à profit des forces qu'on regarderoit comme insuffisantes, si l'on ne sçavoit pas les appliquer avec tout l'avantage qu'elles peuvent avoir.

Que l'on place, par exemple, une charge de 200 livres au milieu d'un lévier dont les extrémités reposent sur les épaules de deux hommes; ces deux appuis suffiront au fardeau, si chacun des porteurs est capable de

IX. LEÇON.

ſoutenir 100 livres. Mais ſi l'un des deux n'en peut porter que 50, quand bien même l'autre pourroit ſuffire à un effort de 150 livres, le plus foible ne ſuccombera pas moins, tant que le fardeau ſera à égales diſtances entre ſon collégue & lui ; & tous deux deviendront inutiles pour l'ouvrage qu'on en attendoit. Mais que l'on place la charge plus loin du porteur le plus foible, & que les bras du lévier devenus inégaux, ſoient en raiſon réciproque des efforts dont les deux hommes ſont capables; & alors le fardeau ſera ſoutenu, comme il auroit pu l'être d'abord par deux autres hommes qui auroient pu ſuffire chacun à un effort de 100 livres.

Qu'un Charpentier porte une ſolive, c'eſt toujours à peu près par le milieu de la longueur qu'il la poſe ſur ſon épaule : en la plaçant ainſi, il ne porte que le poids de la piéce de bois, parce que les deux bouts qui paſſent de part & d'autre, ſe font équilibre réciproquement; & le point d'appui n'eſt chargé que de la ſomme totale des deux maſſes. Mais s'il la poſoit aux deux tiers, ou aux trois

quarts de ſa longueur, il ſeroit obligé, pour l'empêcher de tomber, de la retenir avec ſes bras par le bout le plus court; & cet effort ſeroit équivalent à un poids qui feroit équilibre avec l'excès de longueur que la ſolive auroit du côté oppoſé : l'épaule du porteur ſeroit donc inutilement chargée de cette quantité de plus.

Ces deux exemples que je viens de citer ſont ſi ſimples, & ſe rencontrent ſi fréquemment, que la plûpart de ceux qui nous donnent lieu de les remarquer, ſuppléent au raiſonnement par l'habitude & par le ſeul inſtinct de la nature. Mais il y a une infinité de cas où l'on a beſoin d'être inſtruit & de réfléchir, & où l'on ne réuſſit que par une application raiſonnée de ces mêmes principes dont nous avons naturellement une idée confuſe.

Ce n'eſt auſſi qu'en réfléchiſſant ſur ces loix de la nature, qu'on peut ſe rendre compte d'un nombre infini de précautions & d'uſages que nous adoptons dès l'enfance, ou que nos beſoins & la ſeule induſtrie ont fait naître.

IX. LEÇON.

Pourquoi, par exemple, un homme qui tire un bateau ou quelque fardeau attaché au bout d'une corde, se penche-t-il en avant ? c'est qu'il joint à l'action des muscles une partie du poids de son corps pour vaincre la résistance contre laquelle il agit. Mais s'il manque de point fixe, si celui qu'il a ne l'est point assez, soit par sa nature, soit par une direction désavantageuse, s'il marche sur un plan mobile, tel qu'un bateau qui n'est point arrêté, s'il est sur un terrain glissant ou incliné ; toutes ces causes, qui se réduisent à un défaut d'appui, rendent ses efforts inutiles, ou en diminuent les effets.

C'est pour prévenir des inconvéniens de cette espéce, que l'on jette de la cendre ou du fumier sur les endroits fréquentés qui sont couverts de verglas, & que dans les grands hyvers on met des pointes aux fers des chevaux, ce que l'on nomme, *ferrer à glace*. Sans cette pointe ou talon que l'on pratique aux patins pour piquer la glace, où pourroit-on prendre son point d'appui pour s'élancer sur un plan dont l'avantage le plus

considérable est de n'avoir aucune inégalité qui puisse arrêter le pied ? Les peuples du Nord qui sont obligés le plus souvent de voyager sur la neige, marcheroient sur un appui qui ne seroit point assez fixe, s'ils ne prenoient la précaution de se mettre aux pieds des espéces de raquettes, beaucoup plus larges que la semelle de nos souliers ; par ce moyen ils s'appuyent en marchant sur une plus grande partie du plan, ce qui supplée à son défaut de solidité.

IX. LEÇON.

Quand des chevaux tirent une voiture en montant, ce qui les fatigue, n'est pas seulement le poids de la charge qui est alors moins soutenue par le terrain, c'est encore l'inclinaison de ce terrain qui leur présente le point d'appui dans une direction fort oblique à celle de leur effort ; car leurs jambes en se roidissant contre le terrain, s'inclinent dans le même sens que lui ; & l'on conçoit bien que plus elles approchent du parallélisme, moins les pieds sont appuyés : c'est pourquoi l'on pratique souvent dans ces sortes de chemins certaines inégalités qui facilitent le tirage ;

IX. LEÇON.

ſemblables à peu près aux marches de nos eſcaliers, qui préſentant un plan horizontal à l'effort du pied qui ſe fait dans une direction preſque verticale, réſiſtent beaucoup mieux que ne pourroient faire des portions du plan incliné ſur leſquelles elles ſont établies.

Ceux qui ſont dans l'uſage de tourner doivent ſçavoir combien il eſt néceſſaire qu'un lévier ſoit bien appuyé, pour ſoutenir les efforts oppoſés de la puiſſance & de la réſiſtance; car qu'eſt-ce qu'un ciſeau, une gouge, un burin, ſinon un lévier du premier genre appuyé ſur un ſupport, & dont la main du Tourneur porte le tranchant ou la pointe contre un morceau de bois, de cuivre, de fer, &c? Si le ſupport n'eſt pas bien ferme par lui-même, s'il n'eſt pas proportionné aux efforts qu'il doit ſoutenir, ſi ſa poſition, ou celle de l'outil qu'il ſoutient, donne à ſa réſiſtance une direction déſavantageuſe, il en réſulte, comme l'on ſçait, beaucoup de mauvais effets; les matiéres dures ſe tournent par ondes, (ce qu'on appelle, *guillocher*,) celles qui ſont tendres s'arrondiſſent

s'arrondissent imparfaitement, l'outil s'engage, & fait de faux traits ; en un mot, c'est un défaut essentiel dans un tour, lorsque ce qui doit servir d'appui aux outils, manque ou de solidité ou des mouvemens nécessaires pour lui donner les directions les plus convenables ; & celui qui ne sçait pas placer le support avantageusement, n'est point un habile tourneur.

IX. LEÇON.

DES MACHINES

Qui sont composées de Léviers, ou qui agissent comme des Léviers.

Les léviers entrent dans la construction d'un si grand nombre de machines, qu'il ne seroit pas possible de les y faire remarquer par un détail exact. Les Auteurs qui ont traité le plus amplement des méchaniques, se sont dispensés avec raison, de cet examen superflu, & se sont contentés, après avoir établi les principes, d'indiquer par quelques exemples choisis, l'application qu'on en fait dans les Arts : les bornes que nous nous sommes prescrites, exigent que nous en usions avec encore plus de

IX. LEÇON. réſerve ; c'eſt pourquoi nous ne parlerons ici que des machines les moins composées, de celles qui s'éloignent ſi peu de la ſimplicité du lévier, qu'on les compte quelquefois au nombre des machines ſimples.

De la Balance commune, & de la Romaine.

La balance ordinaire réprésentée par la *Figure* 28. eſt une machine qui ſert à mettre en équilibre deux quantités égales de matiére, de ſorte que ſi l'on connoît le poids de l'une, on ſçait, par ce moyen, combien péſe l'autre.

Cette machine eſt composée d'un *fleau A B*, dont la longueur eſt partagée en deux parties égales par un *axe*; de deux *baſſins C, D*, ſuſpendus aux deux extrémités des bras du fleau, & d'une *chaſſe E F*, qui ſert d'appui à l'axe, où eſt le centre du mouvement.

On reconnoît facilement que cette balance n'eſt autre choſe qu'un lévier partagé en deux bras égaux par ſon appui, & chargé des efforts d'une

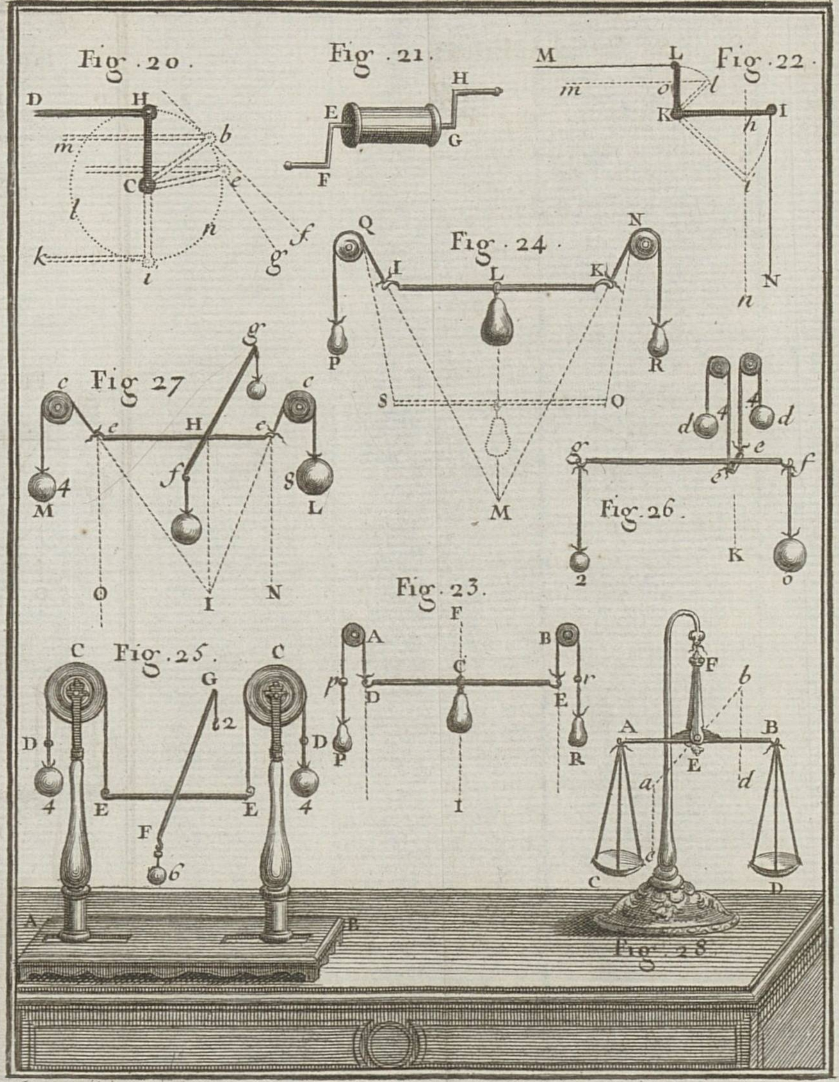
puiſſance & d'une réſiſtance dont les directions ſont paralléles entr'elles, & perpendiculaires à ſa longueur, lorſqu'il eſt horizontal comme *A B*; ou faiſant avec elle des angles égaux de part & d'autre, lorſqu'elle eſt inclinée comme *a b*; de ſorte que s'il étoit poſſible de faire une balance d'une matiére inflexible & ſans péſanteur, nous aurions peu de choſes à ajoûter à ce que nous avons dit & prouvé précédemment. Mais comme la néceſſité où l'on eſt de faire le fleau de quelque matiére dure, telle que du fer ou du cuivre, & de lui donner une figure & des dimenſions qui l'empêchent de plier, fait quelquefois perdre de vûe ce que preſcrit la théorie; je crois qu'il eſt à propos d'examiner en peu de mots ce qui peut rendre une balance juſte ou défectueuſe.

Les qualités eſſentielles d'une balance ſont, 1°. d'être bien mobile, c'eſt-à-dire, que la plus petite différence entre les deux quantités de matiére dont elle eſt chargée faſſent trébucher le fleau, afin qu'on puiſſe regarder ſon état d'équilibre, comme

IX. LEÇON.

le ſigne certain d'une égalité parfaite dans les maſſes de part & d'autre. 2°. Que ſes bras ſoient toujours bien égaux ; car s'ils ne le ſont pas, ils meſureront des diſtances inégales du point d'appui aux points de ſuſpenſion où ſe font les efforts des puiſſances, & deux maſſes égales ne pourront point s'y mettre en équilibre. 3°. Que les bras ſoient dans une même direction ; car autrement il ſera difficile de juger s'ils font des angles égaux de part & d'autre avec les directions des puiſſances. Il n'eſt point facile de concilier enſemble ces trois points de perfection ; il ſe rencontre, dans la conſtruction de l'inſtrument, pluſieurs difficultés à vaincre ; & dans l'uſage même, une balance exige des attentions ſans leſquelles la plus exacte ceſſe de l'être.

La mobilité d'une balance dépend principalement de trois choſes ; ſçavoir, du plus ou moins de frottement qui ſe fait à l'axe ; car on ſçait que c'eſt un obſtacle au mouvement ; de la poſition du centre de péſanteur qui peut être placé hors du centre de mouvement ; & de la longueur des



Brunet fecit

bras, puiſqu'un très-petit poids peut faire un grand effort, étant fort éloigné du point d'appui. IX. Leçon.

Pour rendre la balance plus mobile par la diminution du frottement, il faut que la preſſion au point d'appui ſoit la moindre qu'il eſt poſſible ; & c'eſt pourquoi l'on fait très-léger le fleau des balances d'eſſais, où l'on a beſoin d'une très-grande mobilité: mais il faut prendre garde auſſi qu'étant trop foible il ne plie ſous la charge des baſſins; car ſa courbure auroit d'autres inconvéniens dont nous ferons bien-tôt mention. C'eſt encore dans la vûe de diminuer le frottement de l'axe, qu'on le fait un peu en couteau : & cette pratique eſt bonne, pourvû cependant que l'endroit du trou ſur lequel il porte, ſoit comme lui très-dur ; car autrement, ou il ſe creuſeroit avec le tems, ou il s'écraſeroit lui-même ; & ſa mobilité au-lieu d'être augmentée, diminueroit conſidérablement.

Si le fleau de la balance eſt ſuſpendu par le centre de ſa péſanteur, ſes deux bras ſeront toujours en équilibre, dans quelque ſituation qu'on

IX. LEÇON.

les mette ; & pour peu que l'un des deux ſoit plus chargé que l'autre, la balance trébuchera : cette extrême mobilité devient incommode dans l'uſage ordinaire, parce qu'il faut beaucoup de tems & d'attention pour charger les baſſins avec une égalité auſſi parfaite qu'il le faudroit pour les tenir en équilibre ; c'eſt pourquoi l'on a coûtume de placer le centre du mouvement au-deſſus de celui de la péſanteur. On peut voir, par la *Fig.* 29. avec quelle réſerve il faut uſer de ce correctif, qui n'eſt, à proprement parler, qu'une imperfection miſe à deſſein ; car ſi le triangle *A B C* repréſente un fleau de balance mobile ſur le point *C*, & qu'on lui faſſe prendre une ſituation inclinée comme *ab*, le centre de péſanteur qui eſt dans la ligne *C D*, quand les deux bras ſont dans un plan horizontal, ſe trouvera alors dans la ligne *C d*, & fera effort pour revenir dans la ligne verticale qu'il a quittée ; s'il eſt libre d'y revenir, l'accélération de ſa chûte le fera paſſer outre, il viendra en *f* ; & c'eſt ce qui cauſe ces balancemens qu'on remarque à tous les fleaux, & qui

n'auroient pas lieu si le centre de pésanteur n'étoit plus bas que le centre de mouvement.

IX. Leçon.

Puisque de tels fleaux ne peuvent s'incliner sans que le centre de pésanteur se déplace, & que ce déplacement ne peut se faire sans un effort particulier, il est évident que cette construction ôte à la balance une partie de sa mobilité, & qu'on ne doit éloigner le centre du mouvement que le moins qu'il est possible de celui de la pésanteur, surtout lorsque cet instrument doit servir à péser des marchandises précieuses dont les moindres quantités intéressent.

La longueur des bras contribue aussi à la mobilité de la balance, par la raison que nous avons dite : c'est un moyen qui pourroit par lui-même rendre sensible le poids des plus petites portions de matiére ; mais un fleau de balance ne peut acquérir une plus grande longueur, qu'en devenant ou plus pésant ou plus flexible ; l'un & l'autre sont à craindre : le premier, parce qu'il augmente le frottement par une plus grande pression à l'axe : le second, par des raisons que nous allons rapporter.

IX. Leçon.

La ſeconde condition que nous avons exigée pour faire une balance exacte, c'eſt que ſes deux bras ſoient parfaitement égaux; or ce n'eſt point aſſez qu'ils le ſoient quand on conſtruit l'inſtrument, il faut de plus qu'ils ne ceſſent point de l'être dans l'uſage. Si le fleau n'a pas toute la roideur néceſſaire, il ſe courbe ſous la charge des baſſins; & cette courbure, quelque petite qu'elle ſoit, diminue la mobilité, & jette de l'incertitude ſur les effets de la balance. Car premiérement, ſi la ligne droite *AB*, *Fig.* 30. devient courbe comme *aCb*, les courbures de part & d'autre ſe réduiſent aux deux lignes droites *a C*, *Cb*, & forment, avec la ligne *a b*, un triangle auquel on peut appliquer ce qui a été dit de celui qui eſt repréſenté par la *Figure* 29. Secondement les directions des puiſſances *af*, *bg*, ne font plus des angles droits avec les bras courbés du fleau. A la vérité, ceci n'eſt point un inconvénient, ſi ces angles, quoique différens de ce qu'ils étoient, ſont toujours ſemblables entr'eux; & c'eſt pour s'en aſſurer qu'on éléve une aiguille à angles

gles droits ſur le milieu du fleau. Si la chaſſe eſt ſuſpendue librement, elle prend d'elle-même une direction verticale qui fait connoître quand l'aiguille eſt perpendiculaire au plan de l'horizon, & alors on juge que les deux bras de la balance font des angles ſemblables, avec les directions des puiſſances dont ils ſont chargés; mais cela ſuppoſe, comme l'on voit, ou que le fleau eſt demeuré droit, ou qu'il s'eſt courbé également de part & d'autre ; car ſi la partie *Cb* a plié davantage que celle de l'autre part, la ligne ſera plus courte que *aC*, & ſon inclinaiſon ne ſera pas la même.

Cette différence d'inclinaiſon qu'on doit appréhender ſi le fleau eſt fléxible, & la difficulté d'en eſtimer le plus & le moins dans la pratique, ſont des raiſons ſur leſquelles j'établis la troiſiéme condition : ſi, par le choix de la matiére, par la façon de la travailler, par une figure ou par des dimenſions bien ménagées, on conſtruit une balance de maniére que ſes bras ſoient inflexibles, ſans préjudicier aux autres qualités néceſſaires ils ſeront toujours dans une même

IX. LEÇON.

direction, & leur équilibre dépendra uniquement de l'égalité des masses dont ils seront chargés : cela ne doit s'entendre cependant que du fleau seul, & lorsqu'il n'est pas chargé de ses bassins ; car les points de suspension changent de place quand le fleau s'incline, & par cette raison l'une des puissances s'approche, & l'autre s'éloigne du point d'appui, comme on le verra par la *Figure* 31.

Soient *A*, *B*, les deux trous où l'on attache les crochets ou anneaux qui suspendent les bassins : tant que le fleau est horizontal, les points de suspension sont en *a* & en *b* à égales distances du centre du mouvement ; mais s'il s'incline comme *DE*, les anneaux glissent, & l'un des deux se trouve en *d* plus loin, & l'autre en *e*, plus près qu'il n'étoit du centre de mouvement. C'est par cette raison qu'un fleau seul fait beaucoup de balancemens, & qu'il en fait moins, quand il est chargé de ses bassins, sur-tout s'il s'incline considérablement, parce qu'alors il perd entiérement son équilibre.

On peut remarquer aussi que comme

on fait ordinairement de grands trous pour donner plus de liberté aux anneaux, quoique leurs centres soient dans la même ligne que celui de l'axe, les deux bras du fleau, qui sont, à proprement parler, les deux lignes *ac*, *bc*, ne sont pas pour cela dans la même direction ; & c'est une chose à laquelle on doit avoir égard dans la construction des balances, puisque cela seul peut être cause que le centre de pésanteur se trouve hors du centre de mouvement.

IX. LEÇON.

L'aiguille que l'on place sur le fleau pour connoître quand il est dans une direction horizontale, pése en partie sur l'un des deux bras, quand la balance s'incline, comme il paroît par la *Figure* 32 ; & par cette raison, toutes les fois qu'elle passe la ligne verticale d'un côté ou de l'autre, elle seroit cause d'erreur si l'on ne prévenoit cet inconvénient par un contre-poids *bi*, que l'on ménage dans la partie opposée sous le fleau ; mais ce contre-poids n'empêche qu'une partie du mal, s'il n'est d'une pésanteur parfaitement égale à celle de l'aiguille, ce qui n'est point facile, quand

IX. LEÇON.

le fleau *m n*, l'aiguille *k l*, & le contrepoids *h i* ſont d'une même piéce, comme cela ſe fait ordinairement.

La balance la mieux faite pourroit manquer d'exactitude par la maniére dont elle ſeroit miſe en uſage : elle pourroit, par exemple, n'être plus aſſez mobile, & même devenir fauſſe, par inégalité de longueur dans ſes bras, ſi l'on ne proportionnoit pas à la force du fleau les maſſes dont on charge les baſſins; car alors une grande preſſion à l'axe y cauſeroit trop de frottement, & les bras pourroient ſe courber, ce qui ſeroit équivalent aux défauts qui naîtroient d'une mauvaiſe conſtruction. On courroit riſque auſſi de prendre pour équilibre ce qui ne le ſeroit pas, ſi la chaſſe mal ſuſpendue, ou gênée, ne prenoit pas une direction verticale ; car alors le fleau pourroit n'être pas horizontal ſans qu'on s'en apperçût ; & l'on a pu voir, par tout ce qui a été dit ci-deſſus, que cette poſition eſt celle où il y a le moins à craindre d'équivoque : elle n'en eſt pourtant pas abſolument exempte ; on peut faire une balance fauſſe à qui l'on conſervera cette pro-

priété d'être en équilibre avec elle-même dans une direction horizontale : un des deux bras peut être plus court, mais aussi pésant que l'autre : tant que les bassins seront vuides, l'équilibre subsistera ; mais s'ils sont chargés de quantités égales de matiére, celui qui sera suspendu au plus long bras l'emportera sur l'autre ; car des poids égaux ne peuvent point être en équilibre, qu'à des distances égales du point d'appui.

La balance Romaine, ou péson qu'on a représenté par la *Fig.* 33. est encore un lévier du premier genre, qui différe de la balance ordinaire en ce qu'il met en équilibre deux puissances fort inégales entr'elles : un seul poids *P* que l'on met à différentes distances de l'axe ou point d'appui *C*, sert à péser des quantités beaucoup plus grandes les unes que les autres, que l'on attache au crochet *R*, parce que le bras de lévier *CH* étant gradué, & la puissance *P* étant connue, on sçait combien la résistance a plus de masse, par la différence qu'il y a dans les distances comprises entre l'une & l'autre & le point d'appui.

IX. LEÇON.

Nous ne nous arrêterons pas beaucoup à cet inſtrument, parce qu'on y peut appliquer preſque tout ce qui a été dit ci-deſſus touchant la balance ordinaire ; on remarquera ſeulement que le péſon eſt d'un uſage commode, en ce que n'ayant beſoin que d'un ſeul poids qui n'eſt pas conſidérable, il eſt très-portatif en petit ; & quand on l'employe en grand ſur des maſſes qui ſont très-péſantes, & qu'on ne peut pas diviſer, on eſt diſpenſé d'avoir un grand nombre de poids difficiles à raſſembler, & le point fixe en eſt beaucoup moins chargé ; mais il faut obſerver auſſi que cet inſtrument ne peut pas ſervir à péſer exactement de petites quantités, parce qu'il n'eſt point aſſez mobile, ce qui vient principalement de ce qu'un de ſes bras eſt fort court.

DES POULIES.

La poulie, *Fig.* 34. eſt un corps rond & ordinairement plat, mobile ſur ſon centre *C*, & dont la circonférence extérieure eſt creuſée *en gorge* pour recevoir une corde ou une chaîne à laquelle on applique d'une part

la puiſſance *E*, *F* ou *G*, & de l'autre la réſiſtance *R*.

Il faut ou que la corde mene la poulie, ou que la poulie mene la corde ; c'eſt pourquoi quand on a lieu de craindre que celle-ci ne gliſſe ſur l'autre, on creuſe la gorge en forme d'angle, ou bien on la garnit de pointes. *Fig.* 35.

Le corps de la poulie ſe meut pour l'ordinaire dans une chappe *CD*, qui ſoutient l'axe : on eſt dans l'uſage de fixer les deux bouts de l'axe dans la chappe, & de faire tourner la poulie deſſus ; il vaudroit mieux fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout enſemble dans les trous de la chappe, parce que le mouvement ſe faiſant ſur moins de ſurface, il y auroit moins de frottemens ; & quand bien même les trous de la chappe s'aggrandiroient avec le tems, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, la poulie n'en tourneroit pas moins rondement, ce qui ne ſe peut faire, quand le centre de la poulie eſt trop ouvert.

Les expériences que nous allons rapporter feront connoître, 1o. qu'une

IX. LEÇON.

poulie peut être employée comme un lévier du premier genre, dont les bras sont égaux, & sur lequel deux puissances, dont les forces absolues sont égales, demeurent toujours en équilibre, quelques directions qu'elles prennent. 2°. Que les puissances qu'on y applique, agissent d'autant plus fortement que leur distance à l'axe est plus grande. 3°. Que l'axe est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance, & que son effort se fait dans une direction paralléle aux leurs, & qui tend à leur point de concours.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 36. représente une machine composée de deux piliers élevés & fixés sur une tablette plus longue que large; l'un porte une poulie à jour, de métal, & l'autre un lévier en équerre dont les bras sont égaux, & qui tourne très-librement sur son clou & dans le même plan que la poulie.

On fait passer d'abord sur la poulie

un cordon aux bouts duquel on attache deux poids égaux *P*, *R*, qu'on laisse agir dans des directions parallèles & verticales comme *AP* & *BR*.

IX. LEÇON.

Ensuite on transporte le poids *R* au cordon qui tient au bras *D* du lévier angulaire, & l'on place le cordon de la poulie, comme *PA*, *FE*.

Enfin le poids *R* étant remis à sa premiére place, & le lévier angulaire étant tourné de maniére que *D* soit en *d*, & *E* en *e*, on attache le poids *P* au bout d'un cordon *dp*, & le cordon de la poulie qui le portoit, au bras *e* du lévier tournant.

EFFETS.

Les deux poids *P*, *R*, sont toujours en équilibre, non seulement quand ils sont tous deux dans des directions paralléles & verticales, mais encore lorsque l'un des deux agit horizontalement sur la poulie, soit que la corde embrasse les trois quarts de la poulie, soit qu'elle n'en embrasse qu'un quart.

EXPLICATIONS.

La poulie *AFB*, peut être regardée

IX. LEÇON.

comme un aſſemblage de léviers du premier genre, dont les bras ſont égaux, & qui ont un point d'appui commun au centre *C* où eſt l'axe. Lorſque le cordon eſt vertical de part & d'autre, s'il ne peut pas gliſſer ſur la poulie, il doit avoir le même effet que s'il étoit de deux piéces, dont une fût attachée en *A*, & l'autre en *B*. Il y a donc équilibre entre les deux poids *P*, *R*, parce qu'ils agiſſent à des diſtances égales du point d'appui, & que chacun d'eux fait ſon effort dans une direction perpendiculaire au bras du lévier *AC*, ou *BC*.

L'équilibre ſubſiſte par les mêmes raiſons dans les deux autres cas ; les rayons *GC* & *FC* ſont égaux aux deux premiers, *AC*, *BC*; & les directions *E F* & *e G* leur ſont perpendiculaires comme *R B* l'eſt à *B C*: toute la différence qu'il y a, c'eſt que les deux puiſſances agiſſent d'abord par un lévier droit *A B*, & qu'enſuite elles ſont comme appliquées à des léviers angulaires *ACG*, ou *ACF*; ce qui eſt la même choſe, quant aux effets, comme nous l'avons fait voir ci-deſſus.*

* Page 47.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 37. repréſente une poulie compoſée de pluſieurs plans circulaires qui laiſſent entr'eux des épaiſſeurs, & dont les circonférences ſont creuſées en gorge ; les diamétres, & par conſéquent les rayons de ces cercles, ſont entr'eux comme les nombres 1, 2, & 3. Sur la plus petite des trois circonférences on a placé une corde à laquelle ſont ſuſpendus deux poids de 6 onces chacun ; & l'on a fixé en *a* & en *b* deux autres cordes qui embraſſent les deux autres circonférences, & qui pendent perpendiculairement aux points 2 & 3.

EFFETS.

Quand les deux poids ſont en *H* & en *I*, il y a équilibre entre 6 onces d'une part & 6 onces de l'autre. Si l'on ôte celui qui eſt en *H*, un autre poids de 3 onces fait la même choſe en *K* ; & quand celui-ci eſt ôté, 2 onces placées en *L* ſoutiennent le poids de 6 onces en *I*.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Le rayon *C* 1 étant égal à *Cd*, il y a équilibre entre deux poids égaux, parce que leurs efforts se font à égales distances du point d'appui. Mais *C* 2, étant double de *Cd*, l'équilibre doit naître entre deux masses qui sont en raison réciproque de ces deux longueurs ; ainsi 3 onces en soutiennent 6 : & par la même raison 2 onces suffisent à une distance qui égale trois fois *Cd*.

XII. EXPERIENCE.

PRÉPARATION.

La poulie *GH*, *Fig.* 38. est suspendue par son axe dans deux petites boucles de métal qui sont soutenues de part & d'autre par des cordons qui passent sur deux petites poulies, & qui se réunissent à deux poids égaux *B*, *D*, de sorte que la grande poulie a deux mouvemens ; car elle tourne sur son axe à l'ordinaire, & son axe peut descendre avec elle d'une certaine quantité, lorsque la résistance des poids *B*, *D*, vient à céder.

IX. LEÇON.

Effets.

Ces deux poids cédent, & la poulie tombe d'environ deux pouces, lorſque deux autres poids *E F*, qui péſent enſemble & avec la poulie un peu plus que *B*, *D*, ſe trouvent dans des directions paralléles & verticales: & la poulie remonte en partie, lorſqu'ayant ôté le poids *F*, on retient avec la main le cordon dans la direction *A C*.

Explications.

Quand les deux poids *E*,*F*, ſont ſuſpendus parallélement, leurs efforts ſont perpendiculaires à *G*, *H*, qu'on doit regarder comme les extrémités d'un lévier droit; & nous avons fait voir qu'en pareil cas le point d'appui porte la ſomme totale des deux maſſes; l'axe qui le repréſente, ſouffre donc de haut en bas un effort qui égale les deux poids *E*, *F*, & celui de la poulie pris enſemble; les deux autres *B*, *D*, qui s'oppoſent à ſa chûte, & qui repréſentent ſa réſiſtance de bas en haut, ſont un peu plus foibles que cette ſomme; c'eſt pourquoi

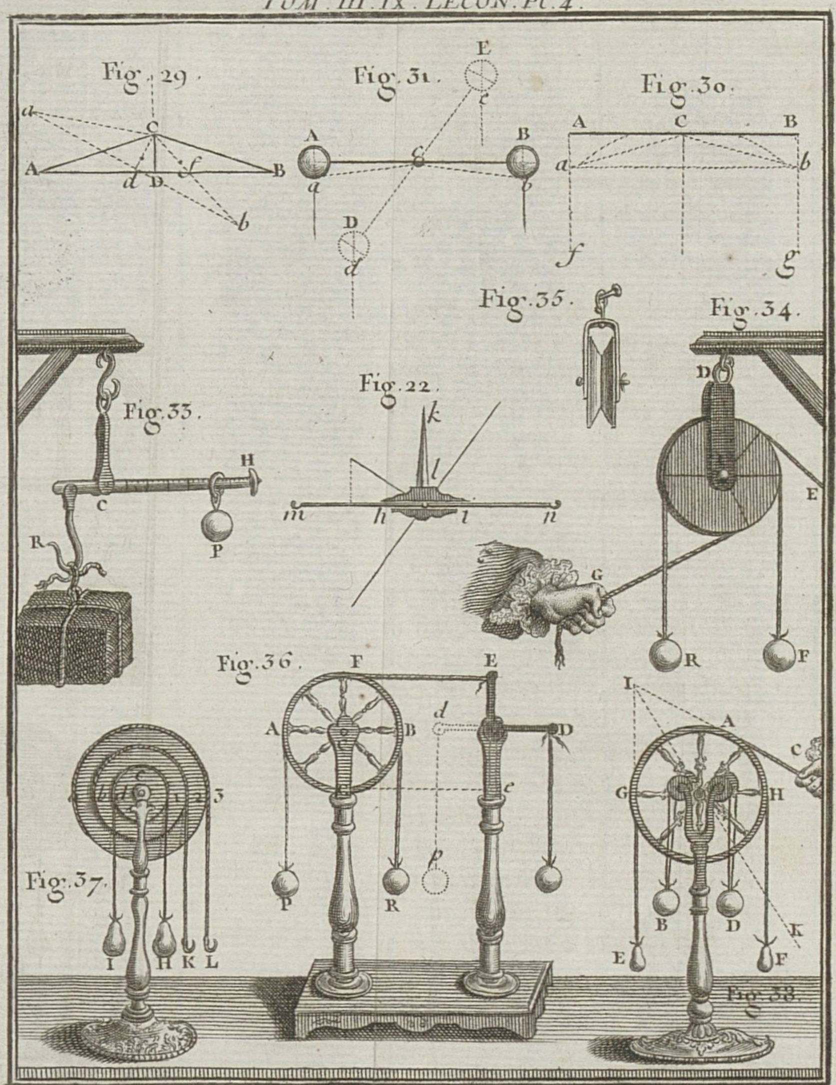
IX. Leçon.

la poulie defcend. Mais elle fe reléve, quand un des côtés de la corde ceffe d'être paralléle à l'autre; car alors l'effort qu'il foutient fe fait felon la ligne *IK*, & ne porte plus qu'obliquement contre les puiffances *B*, *D*.

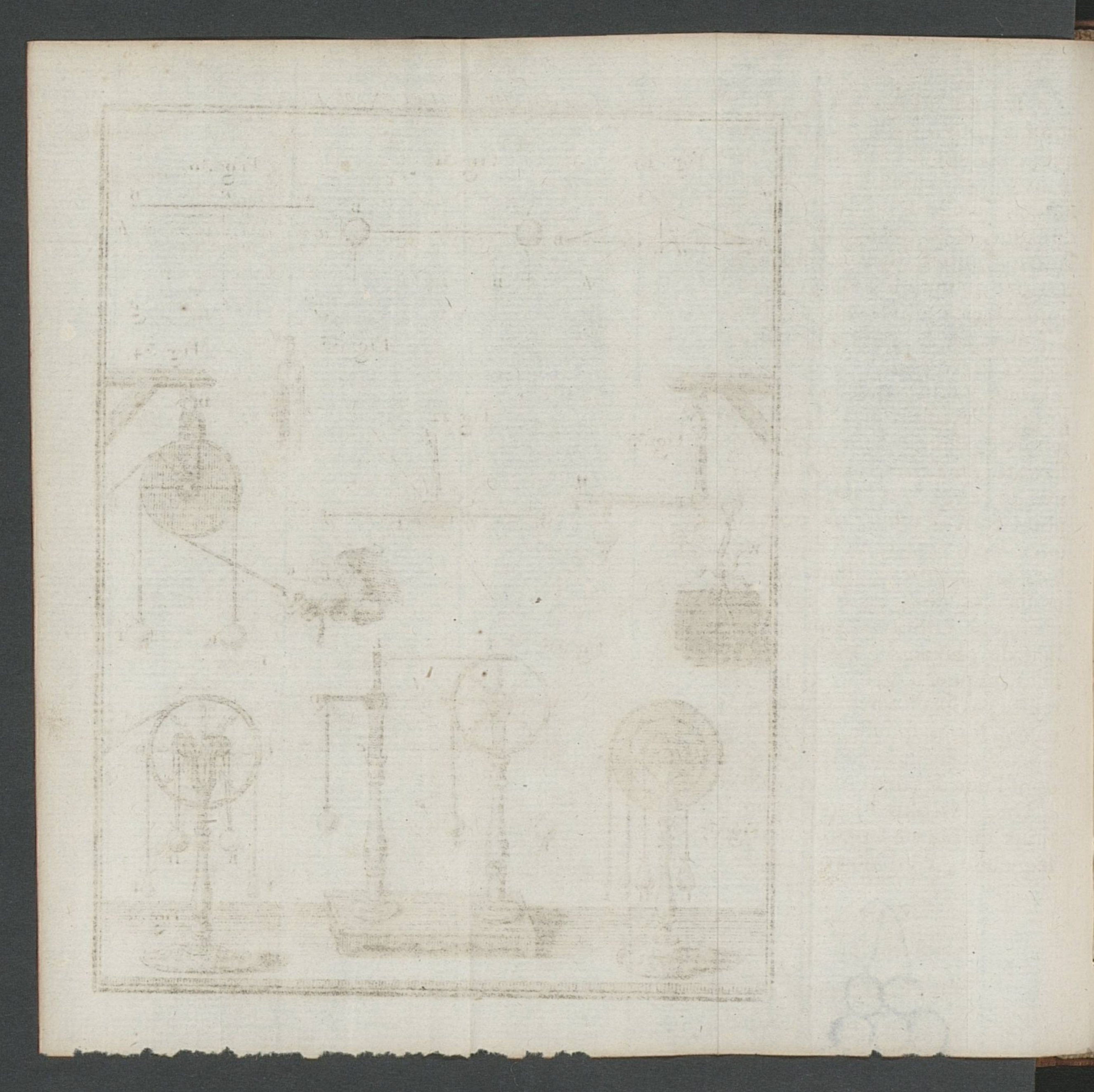
Applications.

La poulie employée comme lévier du premier genre, eft un moyen fimple & commode, & dont on fe fert fréquemment pour changer la direction du mouvement. Car de quelque maniére que fe préfente une puiffance dans le plan où eft la poulie, elle fe trouve toujours perpendiculaire à quelqu'un des rayons, ce qui lui conferve toute fon intenfité. Ainfi quoiqu'un cheval ou un boeuf exerce naturellement fa force dans une ligne horizontale, on peut néanmoins par des renvois de poulies appliquer fes efforts à des réfiftances qui font dirigées verticalement; quoiqu'un poids tende toujours à tomber, il peut être élevé, fi par le moyen d'une poulie on le met en oppofition avec un plus fort.

Les léviers coudés ou angulaires,



Brunet fecit



comme nous l'avons déja fait remarquer, changent bien aussi les directions ; mais la poulie a cet avantage sur eux qu'elle rend le mouvement continu, & qu'elle conserve les puissances toujours dans les mêmes directions qu'on leur a fait prendre d'abord. Cette différence s'apperçoit aisément par la seule inspection des *Figures* 22. & 36.

IX. Leçon.

Comme une poulie qui a plusieurs gorges concentriques*, peut servir à rendre égales des forces qui sont différentes entr'elles, lorsque les diamétres de ces gorges sont dans des rapports convenables ; on peut conséquemment entretenir l'équilibre, ou bien un rapport constant entre deux puissances dont les forces relatives changent continuellement. Car au lieu de plusieurs gorges concentriques, on peut n'en faire qu'une qui ne rentre pas sur elle-même, mais qui prenant la forme spirale, s'éloigne peu-à-peu du centre, suivant la proportion dont l'une des deux forces s'affoiblit.

*Fig. 37.

Une des plus heureuses applications qu'on ait faites de cette conséquence, c'est d'avoir rendu uni-

IX. LEÇON.

forme l'action des resſorts qui animent les montres & les pendules. Nous avons dit dans la ſeconde leçon *, que ces reſſorts comme tous les autres, agiſſent toujours de plus en plus foiblement à meſure qu'ils ſe détendent ; le rouage qu'ils mettent en mouvement, leur oppoſant toujours la même réſiſtance, il eſt évident que la montre ou la pendule iroit toujours en retardant, pendant tout le tems que le reſſort mettroit à ſe développer, ſi l'on n'avoit pas trouvé un moyen de prévenir cet inconvénient. Au lieu d'envelopper ſur un cylindre la chaîne qui ſert à tendre le reſſort, on la reçoit ſur une fuſée, dont la figure * eſt telle, que les tours vont toujours en diminuant de diamétre, comme la tenſion du reſſort augmente. Tout l'art conſiſte à trouver ce rapport ; car la théorie ne peut ſervir qu'à en approcher, les Horlogers ſont toujours obligés d'en venir à des épreuves, parce que les reſſorts ne ſont jamais réguliérement flexibles & élaſtiques dans toutes les parties de leur étendue.

* *Tome I. pag. 135. Fig. 10.*

* *Fig. 39.*

Quand on ſçait de combien l'axe d'une

d'une poulie doit être chargé, on est en état de lui donner les dimensions les plus convenables : ce qu'on doit avoir principalement en vûe, c'est, premiérement, qu'il soit assez fort ; secondemnt, qu'il n'ait que la grosseur nécessaire, afin d'éviter les frottemens d'une trop grande surface. Mais comme la chappe d'une poulie est toujours attachée à quelque point fixe, il faut aussi faire attention que ce qui la soutient soit assez stable pour résister aux efforts qui se font sur l'axe : il faut même avoir égard aux différentes directions que peuvent prendre ces efforts ; car tel appui résisteroit dans un cas, qui céderoit dans l'autre.

On peut aussi considérer la poulie simple comme un lévier du second genre ; elle en a effectivement les propriétés, lorsque la résistance *R*, *Fig.* 40. étant attachée à la chappe, un des bouts de la corde tient à un point fixe *a*, ou *g*, pendant que l'autre est tiré ou soutenu par la puissance *P*, ou *d*. Et alors ou les directions de la puissance & de la résistance sont paralléles entr'elles comme *c I*, *d E*,

IX. LEÇON.

ou elles ſont inclinées l'une à l'autre comme *P k*, *c k*.

Dans le premier cas, la puiſſance ne porte que la moitié du poids de la réſiſtance; dans le ſecond, l'effort de la puiſſance diminue, & le point d'appui ſe dirige au point de concours des directions de la puiſſance & de la réſiſtance, c'eſt-à-dire, en *k*.

XIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *Fig.* 41. ſont deux petites broches longues de trois pouces, qui gliſſent dans deux rainures à jour, pratiquées aux deux bras du ſupport *G*; la premiére ſert de point fixe à un cordon qui embraſſe une poulie chargée d'un poids *D*, & dont l'autre bout s'attache au bras d'une balance dont on a ôté un baſſin, & que l'on a miſe en équilibre avec elle-même, par le moyen d'un petit poids attaché en *H*; & cette balance eſt ſuſpendue à l'autre broche *B*.

On met d'abord les deux petites

broches à telle diſtance l'une de l'autre, que les deux bouts de la corde venant de la poulie ſoient parallèles entr'eux. IX. Leçon.

Enſuite en écartant les deux broches, on fait prendre aux deux bouts de la corde, des directions inclinées en ſens contraires; & dans l'un & dans l'autre cas on charge le baſſin de la balance, autant qu'il le faut pour tenir le fleau dans une ſituation horizontale.

Effets.

La poulie & ſon poids *D*, péſant enſemble 8 onces, il n'en faut que 4 dans le baſſin de la balance pour faire équilibre, lorſque les deux bouts de la corde ſont parallèles entr'eux, & dans une direction verticale; mais lorſqu'ils ſont inclinés comme *P l*, *g m*, de la *Fig.* 40. il faut charger davantage le baſſin de la balance pour la tenir en équilibre.

Explications.

En conſidérant le bras *H* de la balance comme la puiſſance qui ſou-

IX. LEÇON.

tient la poulie & sa charge, après que l'autre bout de la corde est fixé en *A*, le poids que l'on met dans le bassin exprime sans équivoque l'effort qui se fait sur la puissance, lorsque tout est en équilibre. Or, on voit par les résultats la preuve de ce que nous avons avancé ci-dessus, sçavoir, 1°. que les directions des forces opposées étant paralléles, la puissance ne soutient que la moitié de l'effort de la résistance; car dans le premier cas où les deux bouts de la corde sont paralléles entr'eux, *c i* *, direction de la résistance, est aussi paralléle à *d e* qui est celle de la puissance, & 4 onces dans le bassin de la balance, en soutiennent 8 en *D*. 2°. Que les directions des forces opposées n'étant plus paralléles, la puissance n'est plus égale à la moitié de l'effort de la résistance, & que la direction du point d'appui passe au point de concours des deux autres directions; car dans le second cas de l'expérience, où la puissance agit obliquement comme *P k*, 4 onces dans le bassin de la balance ne suffisent plus pour faire équilibre, &

* Fig. 40.

l'angle *gkc*, eſt égal à celui de l'autre part *P k c*.

Quand les deux bouts de la corde ſont paralléles, comme *a b*, *d e*, on peut les conſidérer comme étant attachés aux deux extrémités du diamétre *b e*; lorſqu'ils ſont obliques, comme *P l*, *g m*, on peut les concevoir comme tenant aux points de tangence *l*, *m*: mais les deux lignes *e b*, *m l*, ſont deux léviers du ſecond genre partagés l'un & l'autre en deux bras égaux par la direction *c i* de la réſiſtance; le cordon ſuſpendu en *a*, ou en *g*, tranſportant le point fixe en *b* ou en *m*, on voit tout d'un coup, que la puiſſance appliquée en *e* ou en *l*, agit toujours à une diſtance *e b*, ou *l m*, du point d'appui, double de celle de la réſiſtance placée en *c* ou en *i*. Or ſuivant ce qui a été enſeigné touchant le lévier, 4 onces à une diſtance double du point d'appui, ſont capables d'en ſoutenir 8.

Mais quand la puiſſance ſe dirige obliquement, elle ne ſuffit plus aux mêmes effets qu'auparavant; parce que la direction perpendiculaire au bras du lévier, eſt, comme nous

IX. LEÇON.

l'avons fait voir, la plus avantageuse de toutes, & que par conséquent toutes les autres le sont moins. Il est vrai que *P l* est perpendiculaire au rayon *l c*; mais ce rayon par qui l'on peut concevoir que la puissance agit, est oblique à *c i*, direction de la résistance, ce qui revient au même.

Enfin le point d'appui dirige son effort par *g m*, quand la puissance s'incline comme *P l*; parce que dans l'instant de cette inclinaison la poulie n'étant point soutenue du côté de la puissance, elle roule jusqu'à ce qu'elle le soit également de part & d'autre, ce qui n'arrive que quand l'angle *g k c* est égal à celui de l'autre part *P k c*.

APPLICATIONS.

Puisque quand on a fixé la corde de la poulie en *A*, *Fig.* 41. il ne faut plus en *H*, qu'une force de 4 onces pour en soutenir une autre de 8 en *D*; & qu'une force de 4 onces est toujours la même, soit qu'elle agisse de haut en bas, soit que son effort se fasse de haut en bas par le moyen d'une balance; on peut donc sub-

ſtituer au fleau *H K*, une autre poulie *L* ou *l*, *Fig.* 42. qui fera comme lui l'office d'un lévier du premier genre, & il n'y aura jamais en *M* ou en *m*, qu'un effort de 4 onces à ſoutenir.

Si, pour réſiſter à cet effort de 4 onces, on prolonge la corde de *M* en *N*, *Fig.* 43. & qu'on la faſſe paſſer ſous une troiſiéme poulie *N O*; celle-ci ſemblable à la premiére deviendra un lévier du ſecond genre, où la puiſſance *O*, une fois plus loin du point d'appui *N*, que la réſiſtance qui charge l'axe, n'aura beſoin que d'une force abſolue qui ſoit moitié de la ſienne ; il ne faudra donc plus qu'un effort de 2 onces de bas en haut, & s'il eſt plus commode de tirer de haut en bas, une quatriéme poulie donnera, comme la deuxiéme, cette direction.

La ſeconde & la quatriéme poulies qui ſervent de renvoi pour changer la direction, peuvent être placées dans une même chappe ; & ſi cette chappe eſt fixée par en haut, ſa partie inférieure pourra elle-même ſervir de point fixe au premier bout

de la corde que nous avons ſuppoſé être attachée en *F*.

IX. LEÇON.

Cette maniére de placer ainſi dans une même chappe pluſieurs poulies ou parallélement entr'elles, ou les unes au-deſſus des autres eſt connue depuis long-tems ſous le nom de *moufflés*, ou poulies *moufflées*. Ces machines ſont fort en uſage pour élever de grands fardeaux, & elles ſont commodes en ce qu'elles occupent peu de place, & que l'on peut ſans embarras augmenter à ſon gré l'action d'une même puiſſance ; mais cela ne ſe fait, comme dans toutes les autres machines, qu'aux dépens d'une plus grande vîteſſe dans la puiſſance : car ſi la poulie qui eſt chargée de la réſiſtance, *Fig*. 40. s'éleve juſqu'à la ligne *d a*, il eſt évident que la puiſſance qui produit cet effet, parcourt deux fois autant de chemin dans le même tems, puiſque les deux parties *a b*, *d e*, de la corde par laquelle elle agit, doivent ſe trouver au-deſſus de la ligne *d a*, quand le centre de la poulie y ſera parvenu ; or ces deux longueurs *a b*, *d e*, égalent deux fois la hauteur *c h*.

L'avantage

IX. LEÇON.

L'avantage que les poulies mouflées donnent à la puissance, ne peut pas être augmenté à l'infini ; quand une fois les mouffles contiennent une certaine quantité de poulies, les frottemens inévitables causent ensuite un déchet dans le produit des forces motrices, qui surpasse ce qu'on pourroit gagner en augmentant encore le nombre des poulies.

On doit aussi disposer les mouffles de façon que les directions des cordes se trouvent paralléles le plus qu'il est possible ; car nous avons fait voir que les puissances qui agissent obliquement, en ont moins de forces, toutes choses égales d'ailleurs.

DES ROUES.

Une *roue* est, comme la poulie, un corps rond, ordinairement plat, & mobile sur son centre : la circonférence, au lieu d'être creusée en gorge, reçoit le mouvement qu'on lui communique, ou transmet celui qu'elle a reçu, par son frottement, ou par certaines parties saillantes qu'on y réserve ou qu'on y ajoute, & que l'on nomme *dents*, *chevilles* ou *vannes*, suivant

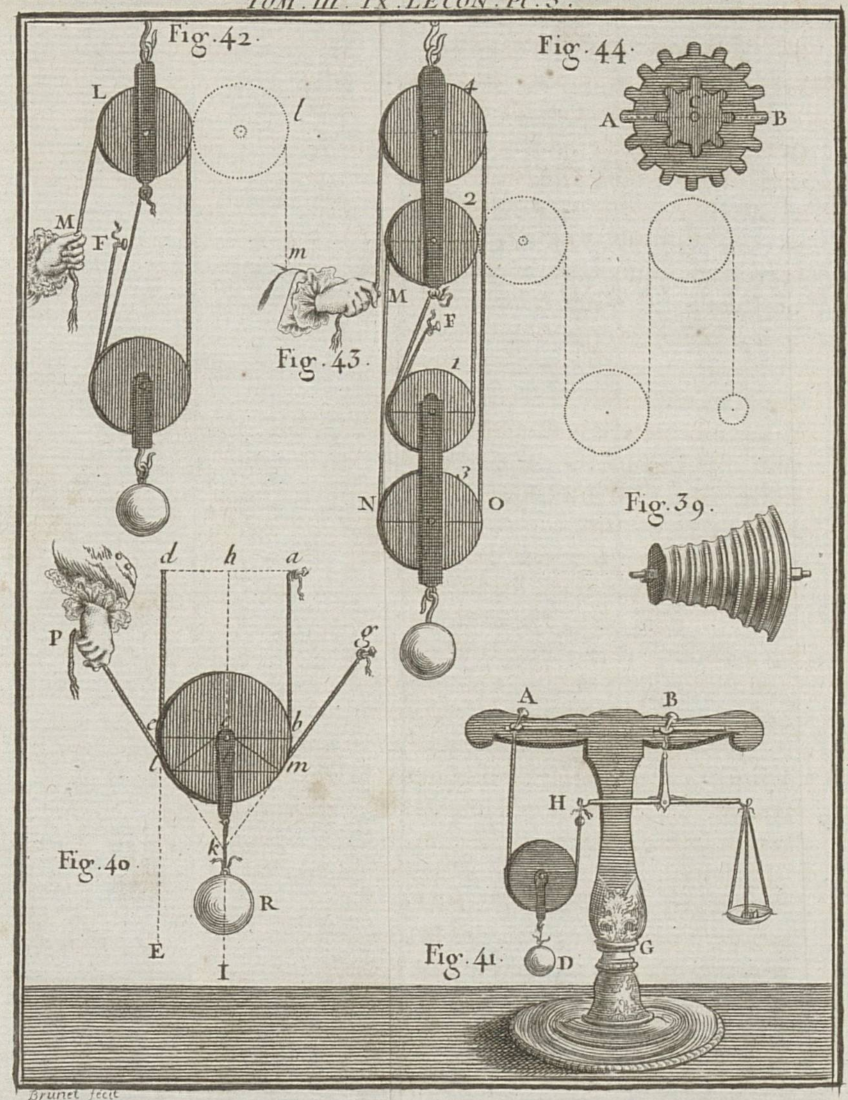
la forme & la grandeur qu'elles ont.

IX. LEÇON.

Les roues ſe meuvent de deux façons ; ou elles tournent toujours dans le même lieu, avec un axe qui eſt attaché à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui ſervent d'appui, comme on voit dans les horloges, tournebroches, moulins, &c. ou bien roulant ſur leur circonférence, elles portent leur centre, & l'axe qui le traverſe, dans une direction paralléle au plan ou au terrain qu'elles parcourent : telles ſont celles que l'on met aux carroſſes & aux autres voitures.

Les roues qui n'ont qu'une ſorte de mouvement, dont les axes ne font que tourner, doivent être conſidérées comme des léviers du premier genre, qui ſervent de même que la poulie, à changer la direction du mouvement, à le tranſmettre au loin, à rendre égales entre elles des puiſſances fort différentes l'une de l'autre, à augmenter la vîteſſe dans l'une des deux.

1°. Les deux dents *A*, *B*, *Fig.* 44. peuvent être priſes pour les extrémités d'un lévier partagé en deux bras égaux par le point fixe ou centre de



Brunet fecit

mouvement *C*; & ſi l'on place ſur le même axe une autre roue une fois plus petite, celle des deux puiſſances qui agit par la dent *a*, étant une fois plus près du centre que l'autre, devient par cette raiſon une fois plus foible. On peut donc par ce moyen rendre égale la force d'une livre à celle de deux.

2°. On auroit encore le même effet, ſi la petite roue, au lieu d'être immédiatement appliquée ſur la grande, étoit à l'autre bout de l'axe; de cette maniére le mouvement de la grande roue *H*, *Fig.* 45. ſe peut tranſmettre à une grande diſtance par la petite roue ou pignon *D*, qui tient au même arbre.

3°. Si ce dernier pignon engréne une autre roue *E*, qui ait des dents paralléles à ſon axe, le mouvement qui lui ſera tranſmis changera de direction, & deviendra horizontal de vertical qu'il étoit.

4°. Enfin ſi la roue *E* a quatre fois plus de dents que le pignon *D*, comme celui-ci ne peut ſe mouvoir ſans la roue verticale *H*, il faut que l'une & l'autre faſſent quatre tours, pour

IX. LEÇON.

faire tourner une fois la roue horizontale *E* : & réciproquement ſi l'on tourne une fois celle-ci, on fera tourner quatre fois le pignon, l'arbre & la roue verticale. Si l'on ſuppoſe donc à chacune des deux grandes roues une manivelle *F*, ou *G*, menée par un homme, qui lui faſſe faire un tour dans une ſeconde ; le mouvement aura quatre fois plus de vîteſſe, lorſqu'il fera tourner la manivelle *F*, que quand on appliquera la même puiſſance en *G*.

Quant aux roues qui ont deux ſortes de mouvemens, comme celles des voitures, dont le centre s'avance en ligne droite, pendant que les autres parties tournent autour de lui ; on doit les regarder le plus ſouvent comme un lévier du ſecond genre, qui ſe répéte autant de fois qu'on peut imaginer de points à la circonférence. Car chacun de ces points eſt l'extrémité d'un rayon appuyé d'une part ſur le terrain, & dont l'autre bout chargé de l'eſſieu qui porte la voiture, eſt en même tems tiré par la puiſſance qui la mene : de ſorte que ſi le plan étoit parfaitement uni &

de niveau, si la circonférence des roues étoit bien ronde & sans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe aux moyeux, & si la direction de la puissance étoit toujours appliquée parallélement au plan, une petite force meneroit une charrette très-pésante. Car la résistance qui vient de son poids, répose entiérement sur le terrain par le rayon *CM*, *Fig.* 46. ou par un semblable qui lui succéde l'instant d'après.

IX. LEÇON.

Mais de toutes les conditions que nous venons de supposer, & dont le concours seroit nécessaire pour produire un tel effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'usage ordinaire.

Les roues des charrettes sont grossiérement arrondies & garnies de gros cloux; les chemins sont inégaux par eux-mêmes, ou ils le deviennent par le poids de la voiture qui les enfonce; ces inégalités, soit des roues, soit du terrain, font appuyer la roue par un rayon *CQ* ou *CN*, oblique à la direction de la puissance *PC*, ou à celle de la résistance *CM*; le poids qui réside en *C* pése

IX. LEÇON.

donc en partie contre la puiſſance, qui ne peut le faire avancer, qu'en le faiſant monter autant que le point *Q* ou *N* eſt au-deſſus de *M*.

D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient ſur des ſurfaces parfaitement unies & droites ; il ſe fait indiſpenſablement de l'eſſieu aux moyeux, un frottement qui eſt de nature à être toujours conſidérable, comme nous l'avons remarqué dans la troiſiéme Leçon *.

* *Tome I. p.* 233.

Les creux & les hauteurs qui ſe rencontrent dans les chemins, changent auſſi la direction de la puiſſance. Un cheval placé plus haut ou plus bas, par la diſpoſition du terarin, au lieu de faire ſon effort par la ligne *CP*, *Fig.* 46. paralléle à la portion du plan qui porte actuellement les roues, le fait aſſez ſouvent par *CS*, ou *CR*, c'eſt-à-dire, obliquement à la direction *CM* de la réſiſtance, & par conſéquent avec déſavantage.

Mais s'il n'eſt pas poſſible de ſe mettre abſolument au-deſſus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues ; car il eſt

certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes, dans les inégalités du terrain, comme on le peut voir par la *Fig.* 47. & parce que la circonférence d'une grande roue mesure en roulant, plus de chemin que celle d'une petite ; elle tourne moins vîte, ou elle fait un plus petit nombre de tours pour parcourir un espace donné, ce qui épargne une partie des frottemens.

Nous entendons par grandes roues celles qui ont cinq ou six pieds de diamétre ; dans cette grandeur, elles ont encore l'avantage d'avoir leur centre à peu près à la hauteur du trait d'un cheval, ce qui met son effort dans une direction perpendiculaire au rayon qui pose verticalement sur le terrain ; c'est-à-dire, dans la direction la plus favorable, au moins dans les cas les plus ordinaires.

Du TREUIL, *ou* TOUR : *&* *du* VINDAS *ou* CABESTAN.

L'inspection seule des *Figures* 48. & 49. suffit pour faire connoître que ces deux machines, à proprement

IX. LEÇON.

parler, ſont la même à qui l'on donne différens noms, ſelon les différentes poſitions dans leſquelles on l'employe. Quand le rouleau ou cylindre *A B*, qui reçoit la corde, & qui eſt la partie principale, ſe trouve placé horizontalement, la machine ſe nomme *Tour* ou *Treuil*; elle s'appelle *Vindas* ou *Cabeſtan*, quand ce même rouleau eſt vertical.

Ces deux machines ſont employées fréquemment aux puits, aux carriéres, dans les bâtimens, pour élever les pierres & autres matériaux, ſur les vaiſſeaux & dans les ports, pour lever les ancres, &c. Et quand on y fait attention, on les retrouve en petit, dans une infinité d'autres endroits où elles ne ſont différentes que par la façon, ou par la matiére dont elles ſont faites. Les *tambours*, les *fuſées*, les *bobines* ſur leſquelles on enveloppe les cordes ou les chaînes, pour remonter les poids ou les reſſorts des horloges, des pendules, des montres mêmes, &c. doivent être regardés comme autant de petits treuils & de petits cabeſtans.

Ce que nous avons dit des pou-

lies & des roues, comprend ce qu'il y a de plus important à sçavoir touchant le treuil; car si l'on conçoit l'arbre tournant comme une suite de poulies enfilées sur le même axe, si l'on considére les léviers en croix, qui servent à le mettre en mouvement, comme des rayons prolongés, de la premiére de ces poulies; enfin, si l'on fait attention, que quand l'axe tourne, tout ce qui fait corps avec lui participe à son mouvement; on verra tout d'un coup que cette machine fait l'office d'un lévier sans fin, du premier ou du second genre, qui a deux bras inégaux à compter du point fixe *h*, sçavoir, le demi-diametre du cylindre *g h*, *Fig.* 50. par lequel agit la résistance, & un autre rayon *h k* du même cylindre prolongé par un des léviers qui forment la croix, & par lequel la puissance fait son effort.

IX. Leçon.

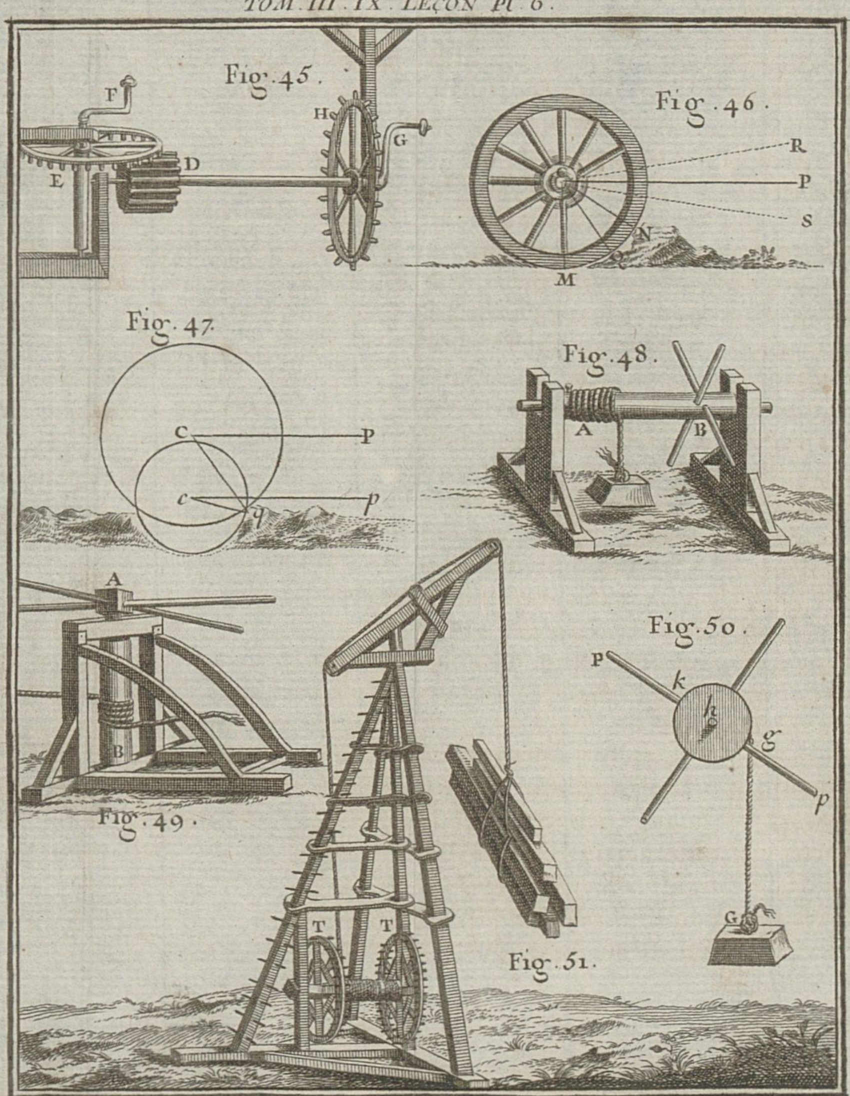
La puissance *P* ou *p* est donc à la résistance *G*, comme la longueur *Ph*, ou *p h*, est à *gh*, ou *k h*; c'est-à-dire, que si chacun des léviers croisés, à compter depuis le centre du cylindre, est quatre fois plus long que le

IX. LEÇON.

demi-diamétre *gh*, un poids de 400 livres, attaché à la corde *Gg*, peut être ſoutenu par un effort équivalent à 100 livres, qui réſiſteroit en *P*.

Mais ſi l'on n'avoit qu'un effort de 100 à employer de cette maniére contre 400; lorſque le lévier *P* viendroit à tourner, la puiſſance prendroit une direction déſavantageuſe & ne ſuffiroit plus, comme on l'a expliqué en parlant des manivelles; & d'ailleurs, ſi ces léviers croiſés étoient fort longs, un homme ne pourroit pas facilement quitter l'un pour reprendre l'autre; c'eſt pourquoi aux carriéres, aux miniéres, & dans les grues où le treuil eſt employé en grand, les léviers croiſés aboutiſſent à une circonférence, & forment une grande roue que l'on garnit de chevilles, comme *T, T. Fig.* 51. Par ce moyen la force des hommes, toujours appliquée à une même diſtance du centre de mouvement, agit uniformément, & pluſieurs peuvent travailler en même tems par un même rayon ſans s'incommoder réciproquement.

Si la corde après avoir enveloppé le rouleau dans toute ſa longueur,



R. Brunet fecit

retournoit ſur elle-même pour l'envelopper une ſeconde ou une troiſiéme fois, comme il arrive quand on ſe ſert du treuil pour élever des fardeaux à une grande hauteur; il faut avoir égard à l'augmentation du diamétre du rouleau; car puiſque ſon rayon eſt le lévier de la réſiſtance, quand le diamétre de la corde eſt ajoûté une ou deux fois à la longueur de ce rayon, l'effort du fardeau ſe trouve plus loin de l'axe ou point d'appui, ce qui l'augmente d'autant.

II. SECTION.

Du Plan incliné.

EN traitant de la péſanteur dans la ſixiéme leçon *, nous avons donné la définition du plan incliné, & nous avons fait connoître comment & dans quels rappors il retarde la chûte des corps graves. Nous ſuppoſerons donc comme une vérité prouvée, qu'une maſſe qui roule ou qui gliſſe de haut en bas le long d'un plan in-

* *Tome II. pag. 177. & ſuiv.*

IX. LEÇON.

cliné, eſt en partie ſoutenue par ce plan, & qu'elle l'eſt d'autant plus, que l'inclinaiſon eſt plus grande.

Il ſuit de ce principe, qu'une puiſſance appliquée à ſoutenir un corps ſur un plan incliné, n'a pas beſoin d'être égale au poids de ce corps: & comme un poids n'eſt autre choſe qu'une force dont la direction eſt déterminée; on peut dire plus généralement, qu'une puiſſance quelconque, qui eſt obligée de ſuivre un plan incliné à ſa direction, peut être égalée ou vaincue par une autre puiſſance plus foible.

Mais puiſqu'un plan fait obſtacle à la chûte d'un corps, parce qu'il eſt oblique à la direction de la péſanteur, on doit préſumer qu'il affoiblira de même toute autre puiſſance dont la direction ſera oblique à la ſienne; & en effet l'expérience prouve, 1°. Qu'une petite force en ſoutient une plus grande ſur un plan incliné; 2°. Qu'une petite force employée contre une plus grande, n'agit jamais avec autant d'avantage, que quand ſa direction eſt paralléle au plan incliné, par lequel elle fait ſon effort.

PREMIERE EXPERIENCE.

Preparation.

La machine qui eſt repréſentée par la *Fig.* premiére, eſt compoſée d'une tablette *A C*, longue d'environ 15 pouces & large de trois ou quatre ; elle eſt jointe par une charniére en *C* à une autre tablette au bout de laquelle eſt fixé un quart-de-cercle qui ſert à régler & à fixer ſon inclinaiſon : *D* eſt un cylindre de bois dur qui péſe 5 ou 6 onces, & qui tourne très-librement ſur ſon axe, dans une eſpéce de chappe de métal, ſoutenue par deux cordons qui paſſent ſur deux poulies de renvoi *e*, *e*, & au bout deſquels ſont attachés deux poids *d*, *d*, de deux onces chacun. Les deux petites poulies ſont portées par une piéce de métal, que l'on peut placer à différens endroits ſur le quart-de-cercle.

On incline le plan *A C* un peu plus que de 45 degrés ; on place le cylindre ou rouleau *D* en ſa partie inférieure, & l'on met les poulies de renvoi de façon que les cordons qui tirent le rouleau ſoient paralléles au

IX. Leçon.

plan incliné, & on laiſſe agir les deux poids *d*, *d*.

Enſuite on répéte la même choſe, excepté ſeulement qu'on place les poulies de renvoi en *E* ou en *F*, afin que leurs directions ſe trouvent au-deſſus & au-deſſous du plan incliné, & faiſant un angle avec lui, comme *ADF*, ou *ADE*.

Effets.

Les cordons étant dans une direction paralléle au plan incliné, les deux poids qui péſent enſemble 4 onces, commencent à enlever le rouleau qui en péſe environ 6. Mais lorſqu'on a placé les poulies en *F* & en *E*, ces mêmes poids ne ſuffiſent plus pour faire monter, ni même pour arrêter le rouleau. Le même effet arrive, ſi, au lieu de changer les poulies de place, on incline plus ou moins le plan *AC*.

Explications.

Le rouleau de notre expérience eſt un corps grave qui eſt naturellement déterminé à ſe mouvoir de haut-en-bas, & perpendiculairement

au plan de l'horizon : deux cauſes concourent à l'arrêter ; la premiére eſt la réſiſtance du plan incliné ſur lequel il poſe ; la ſeconde eſt l'effort des deux poids *d*, *d*. Si cette derniére cauſe agiſſoit ſeule, il faudroit que la ſomme des deux poids fût égale à la maſſe du rouleau ; on a vû par le réſultat de l'expérience, que 4 onces en ſoutiennent 5 ou 6, par le moyen du plan incliné ; il eſt donc indubitable qu'en pareil cas une petite force en peut ſoutenir une plus grande.

Pour rendre raiſon de cet effet, ſuppoſons que la ligne *a c*, *Fig.* 2. ſoit le plan incliné, que le cercle *dfg* eſt la baſe du cylindre ou rouleau, que tout le poids de ce corps réſide au centre *k*, & qu'il eſt en équilibre avec une puiſſance dont la direction eſt *kp*, pendant que ſon poids le ſollicite à tomber par la ligne *kh*, perpendiculaire à l'horizon *bc*. Voilà donc deux forces appliquées à l'extrémité *k*, d'un même rayon ou lévier, dont l'autre bout *d* eſt appuyé ſur le plan ; mais l'une des deux fait avec ce lévier un angle droit *p k d*,

IX. LEÇON.

elle agit dans la direction la plus avantageuſe qu'elle puiſſe avoir ; l'autre au contraire agit par une ligne inclinée à ce même lévier, & fait avec lui un angle aigu *dkh*, ce qui le réduit à la longueur *de*, ſelon ce que nous avons enſeigné dans la ſection précédente ; ainſi comme *de*, eſt plus court que *dk*, on peut dire que le poids du rouleau le céde d'autant à la puiſſance *p* : & pour ramener ceci à une regle générale, on doit faire attention que le triangle *dke* eſt ſemblable à celui qui repréſente le plan incliné *abc*, & que les deux lignes *de dk*, par conſéquent, ont le même rapport entr'elles que *ab* & *ac* ; d'où il ſuit cette propoſition, que *le poids du mobile eſt à la puiſſance qui le ſoutient, comme la hauteur du plan incliné eſt à ſa longueur* : c'eſt-à-dire, que ſi la ligne *ab*, hauteur du plan, eſt à la ligne *ac*, qui exprime ſa longueur, dans le rapport de 2 à 3, avec un effort de 2 onces on peut ſoutenir un poids de 3 onces, placé ſur un plan incliné.

Mais comme la puiſſance n'a cet avantage ſur la réſiſtance qu'en conſéquence

séquence d'une direction plus favorable à son effort, elle doit en avoir moins lorsqu'elle cesse d'agir parallélement au plan ; car dans toute autre position, elle est inclinée au rayon *dk*. Le plan incliné n'est favorable à la puissance, que parce qu'il soutient en partie le poids du mobile. Quand cette puissance agit au-dessus du plan comme *ki*, elle ne laisse pas porter au plan tout ce qu'il pourroit porter ; & si elle s'en éloigne jusqu'à tirer directement le poids suivant la ligne *kl*, il est évident qu'alors le plan n'est plus chargé de rien, & que l'effort de la puissance doit être égal au poids du mobile pour le soutenir. Lorsqu'elle agit au-dessous du plan, comme *km*, une partie de sa force est employée en pure perte contre le plan ; & l'on conçoit bien que si elle s'abbaissoit jusqu'à prendre la direction *kn*, la résistance du plan devenant directe, l'empêcheroit d'avoir aucune action contre le poids du mobile.

IX. LEÇON.

APPLICATIONS.

L'expérience que nous venons

IX. LEÇON.

d'expliquer fait voir, non seulement qu'on peut tirer avantage des plans inclinés pour vaincre des résistances, ou pour soutenir de grands poids avec des forces moins grandes qu'il n'en faudroit employer pour les arrêter, ou pour les élever dans une direction verticale ; elle fait connoître aussi, qu'un mobile dont le centre de pésanteur n'est point soutenu, doit toujours tomber, quoiqu'il pose d'ailleurs. Car il ne suffit pas que le rouleau porte au point *d* sur le plan ; * sans l'effort de la puissance *p*, il rouleroit de haut en bas, parce que le centre de sa pésanteur qui agit dans la direction *kh* n'est point soutenu.

* Fig. 2.

C'est ainsi qu'on peut rendre raison d'une infinité d'effets dont on est surpris, & qu'on a peine à expliquer, quand on ignore, ou qu'on ne fait point attention à ce principe. La *Fig.* 3. par exemple, représente un solide *A* composé de deux cônes qui sont joints par leurs bases ; on pose ce corps sur deux régles *B C*, *D C*, qui font ensemble un angle aigu, & qui sont plus élevées par l'autre bout *B*, *D*, de sorte qu'il est comme sur

un plan incliné ; lorſqu'on le laiſſe libre, il monte en roulant, & ſuit en apparence une route toute contraire à celle que tous les corps graves ont coutume de prendre.

IX. LEÇON.

Cet effet vient de ce que le centre de gravité du corps *A* n'eſt point ſoutenu ; car lorſqu'il eſt placé en *C*, il y reſteroit en repos, s'il portoit ſur un rayon *a e*, perpendiculaire au plan horizontal *e f*; *Fig.* 4. mais comme les deux regles font un angle, elles touchent ce double cône par des points qui ſont plus reculés comme *g* : ainſi le centre de gravité qui eſt en *a* porte à faux, & le corps entier commence à rouler de *C* vers *B*. A meſure qu'il s'avance dans cette direction, les deux régles étant de plus en plus écartées, le mobile deſcend d'une quantité égale au demi-diamétre *a e*, plus grande que la hauteur *f B*, à laquelle il ſemble s'être élevé ; & le point *a*, par rapport à l'horizon, deſcend réellement de la quantité *h B*.

Si les corps tombent toutes les fois que le centre de gravité n'eſt point ſoutenu, il eſt vrai de dire auſſi qu'ils ne tombent jamais, tant que ce mê-

IX. LEÇON.

me centre eſt appuyé ; c'eſt pour cela qu'on voit tant d'édifices, qui ont perdu leur à-plomb & qui ne laiſſent pas que de ſe ſoutenir, & certains ouvrages bâtis en ſaillie, qui ne manquent point pour cela de la ſolidité qu'il leur convient d'avoir.

On ſeroit peut-être tenté de croire que c'eſt pour le bon air qu'un danſeur de corde geſticule preſque toujours des bras ; mais la vraie raiſon, c'eſt que comme il marche ſur une eſpéce de plan très-mobile, qui s'incline continuellement, & de différentes maniéres ſous ſes pas : lorſqu'il s'apperçoit que le centre de ſa péſanteur n'eſt pas ſoutenu, il le rappelle dans la ligne de direction, en allongeant le bras du côté oppoſé, comme un lévier dont le poids eſt d'autant plus puiſſant que ſes parties ſont plus loin du centre de leur mouvement : & lorſqu'il n'eſt point encore aſſez habile dans ſon art, il employe pour cet effet un contrepoids, qu'il avance à droite & à gauche, ſelon le beſoin.

Les enfans qui commencent à marcher, & qui n'ont point encore

acquis l'habitude de diriger leurs corps rélativement aux différens plans ſur leſquels ils paſſent, évitent, par les mouvemens de leurs bras, une partie des chûtes auſquelles les expoſe preſque continuellement une démarche qui n'eſt pas encore bien aſſûrée.

Pourquoi les perſonnes qui ont un gros ventre ſe panchent-elles en arriére ? c'eſt que ſans cette attitude, le centre de péſanteur trop peu ſoutenu, les mettroit en danger de tomber ſur la face. Un crocheteur au contraire, qui porte un gros fardeau ſur le dos, ſe courbe en avant, parce que ſa charge & lui ont un centre de gravité commun, qui le plus ſouvent ſe trouve placé hors du porteur, & qui ne ſeroit point ſoutenu s'il marchoit droit. Il faut donc de néceſſité qu'il ſe penche juſqu'à ce que ce centre ſe trouve dans une ligne verticale qui paſſe entre ſes deux pieds.

Quand on veut ſe tenir debout ſur une jambe, on eſt obligé de faire un mouvement de côté, pour mettre le corps perpendiculairement ſur celui des deux pieds qui doit le ſou-

IX. LEÇON.

tenir ; si l'on veut se baisser en portant la tête en avant, il faut nécessairement porter en arriére la partie opposée, pour entretenir l'équilibre entre l'une & l'autre ; voilà pourquoi l'on ne peut ni se tenir sur un seul pied, ni rien ramasser devant soi en se baissant, lorsque l'on a immédiatement à côté & derriére soi un mur ou un arbre qui empêche les mouvemens qu'il faut faire, pour placer ou pour maintenir le centre de gravité dans la ligne de direction qui passe au point d'appui.

DES MACHINES

Qui sont composées de plans inclinés.

Parmi les machines qui agissent comme plans inclinés, les plus simples, & celles dont l'usage est le plus commun, sont les *Coins* & les *Vis* : je me bornerai à ces deux espéces ; & en examinant leurs principales propriétés, j'en indiquerai quelques autres qui peuvent s'y rapporter.

DU COIN.

On donne communément le nom

de Coin à un corps dur composé de trois plans qui terminent deux triangles comme *D A C*, *Fig. 5.* les deux plus longs de ces plans forment un angle à la ligne *A a*, qu'on appelle *la Pointe* ou *le Tranchant* : le plus petit *D c*, qui détermine leur écartement se nomme *la Base*, ou *la Tête*, & la hauteur se mesure par la ligne *A B* qu'on regarde aussi comme l'*axe* du coin.

On se sert ordinairement de cette machine pour fendre, soulever, ou presser quelque matiére ; & pour la faire agir, on employe la pression d'un ressort ou d'un poids, & plus communément encore le choc d'un corps dur qu'on fait mouvoir avec une certaine vîtesse, comme un marteau, un maillet, &c.

Le plus souvent la résistance que l'on a à vaincre avec le coin, vient de la ténacité des parties qu'il faut désunir & écarter ; cette adhérence qui varie à l'infini, selon la nature des corps, leur grandeur, leur figure, & quantité d'autres circonstances, ne peut s'estimer que très-difficilement ; d'un autre côté, la percussion que l'on

IX. LEÇON.

employe pour faire agir le coin, eſt une force qu'il eſt bien difficile de comparer ſans erreur à celle d'une ſimple preſſion, parce que le produit de ſon effort ne dépend pas ſeulement de la quantité du mouvement dans le corps qui frappe, mais encore de la nature de celui qui eſt frappé, de la maniére dont il reçoit le coup, & de pluſieurs autres cauſes qui influent ſouvent plus ou moins qu'on ne l'a penſé. J'écarterai donc toutes ces conſidérations comme étrangéres à mon objet préſent ; & pour me renfermer préciſément dans les propriétés du coin, je ſuppoſerai des puiſſances dont on connoît la force abſolue, comme des poids ou des reſſorts d'une force déterminée, afin de n'avoir plus à conſidérer que les rapports que prennent entr'elles la puiſſance & la réſiſtance, par la ſeule interpoſition du coin.

En conſidérant les différentes maniéres dont le coin peut agir, j'en conçois principalement deux, auſquelles il me ſemble qu'on peut rapporter toutes les autres avec des modifications. Premiérement, j'imagine deux

deux corps *A*, *B*, *Fig.* 6. appuyés ſur un plan bien ſolide ſur lequel ils ne puiſſent que gliſſer ou rouler dans les directions *CD*, *CD*; je ſuppoſe auſſi qu'une force déterminée, comme de 10 livres, par exemple, appliquée en *E*, s'oppoſe à ce mouvement : ſi je fais deſcendre entre les deux corps, le coin *FGH* de toute ſa hauteur ; il eſt certain qu'à la fin de cette action les deux mobiles *A*, *B*, ſeront écartés l'un de l'autre de toute la largeur de la baſe *F H*. On conçoit bien auſſi qu'ils le ſeroient plus ou moins, ſi j'employois un autre coin dont l'angle fût plus ou moins ouvert, comme *i m G*, ou *l n G*; mais pour tranſporter ainſi deux maſſes qui réſiſtent, il faut de la force, & l'on eſt obligé d'en employer davantage quand on les tranſporte à une diſtance plus grande dans un tems déterminé.

IX. LEÇON.

Secondement, je me repréſente un coin qui fait effort pour écarter davantage les deux parties d'une buche entr'ouverte, *Fig.* 7. tandis qu'elles réſiſtent à cet écartement, par la liaiſon des fibres qui ſont encore unies au-deſſous de l'angle *p*. Je conçois les

IX. LEÇON.

deux lignes *ſp*, *pq*, & de l'autre part *t*, *p*, *tr*, comme deux léviers angulaires, dont les bras *pr*, *pq*, ſont liés enſemble par des fils également diſtans l'un de l'autre ; le coin agiſſant en *t* & en *ſ*, fait donc ſon effort par les deux bras *tp*, *ſp*, contre le premier lien qui eſt à l'angle *p*, tandis que les deux autres bras s'appuyent mutuellement l'un contre l'autre au-deſſous. Si ce lien eſt inflexible, & qu'il ne puiſſe céder ſans ſe rompre, l'effort du coin produira cet effet s'il excéde un peu la force de ce fil; & s'il eſt une fois rompu, celui qui le ſuit immédiatement, quoiqu'auſſi fort, ſe rompra plus facilement par la même action du coin, parce qu'alors le lévier de la puiſſance eſt augmenté en longueur, comme on le peut voir par les deux lignes ponctuées qui répondent au ſecond lien; & par la même raiſon, cet avantage que reçoit la puiſſance doit aller toujours en augmentant. N'eſt-ce pas pour cela que les bois durs & ſecs, les pierres, le verre, & en général toutes les matiéres dont les parties ſont fort roides, ſe caſſent par éclat,

& se fendent fort aisément dès qu'on a commencé à les entamer ? Il n'en seroit pas tout-à-fait de même si ces liens que je suppose, étoient fléxibles, parce que les premiers venant à céder un peu, laisseroient porter aux autres une partie de l'effort du coin, & la même force ne suffiroit pas pour les rompre tout-à-fait.

Que le coin agisse de l'une ou de l'autre façon, il paroît : 1°. Qu'on peut s'en servir avantageusement pour vaincre de grandes résistances: 2°. Que son action devient d'autant plus puissante, qu'il est plus aigu. L'expérience, en confirmant ces deux propositions, nous donnera lieu de déterminer le rapport des puissances qui agissent l'une contre l'autre par le moyen de cette machine.

II. EXPERIENCE.

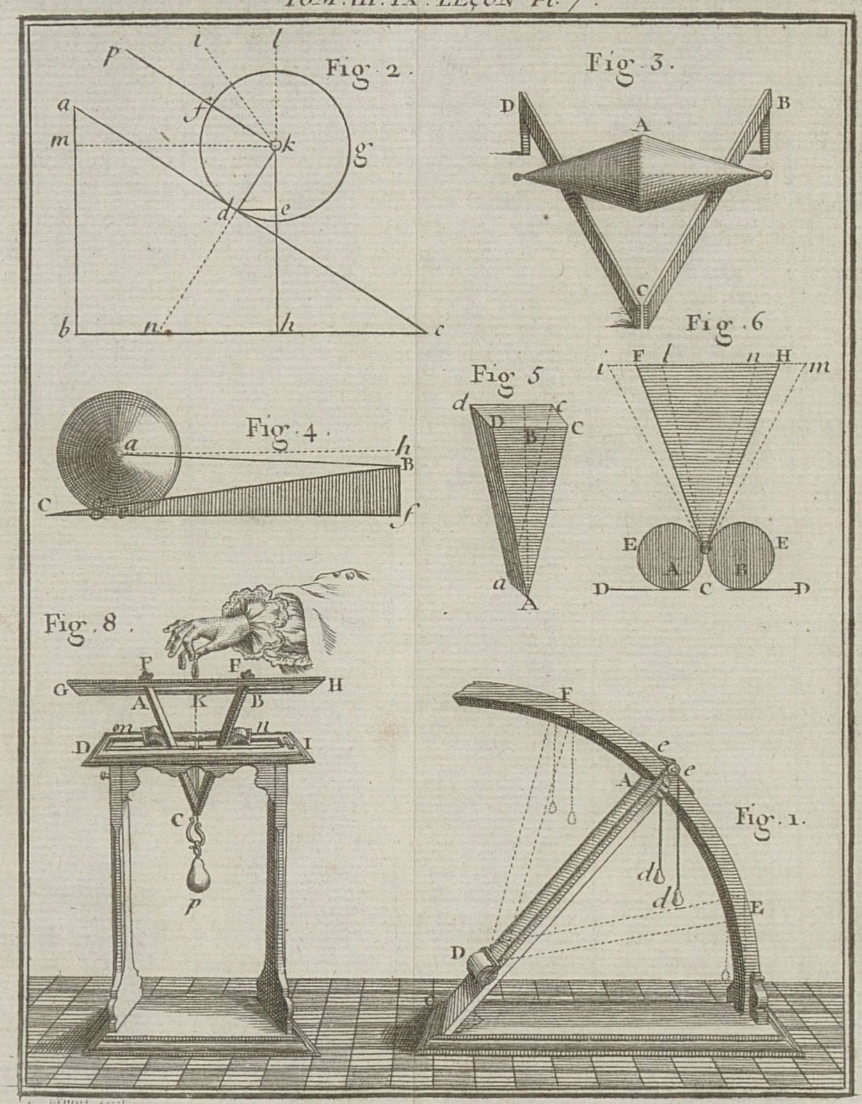
PREPARATION.

Les deux plans *A C*, *B C*, *Fig.* 8. forment les deux faces d'un coin, qui peut devenir plus ou moins aigu, par le moyen d'une charniére qui est

IX. LEÇON.

au point *C*, & de deux écroux *E, F*, qui arrêtent les deux autres extrémités à la regle *G H* ; pour cet effet cette derniére piece doit être percée d'une raînure à jour dans laquelle on fait gliſſer deux tourillons à vis que l'on a ajoutés aux bouts des deux plans. *DI* eſt un chaſſis placé horizontalement ſur deux montans qui aboutiſſent à une tablette qui leur ſert de pied. Deux rouleaux *m*, *n*, tournent dans des petites chappes qui gliſſent avec beaucoup de facilité, ſur deux fils de métal tendus d'un bout à l'autre du chaſſis. On voit, par cette diſpoſition, que les rouleaux ne peuvent être écartés l'un de l'autre que par une force capable d'élever le poids *p*, & que le coin *ABC*, agiſſant contre eux par ſon propre poids, ou par celui qu'on lui ajoute, il eſt facile de comparer l'effort de la puiſſance avec celui de la réſiſtance.

Le poids *p* étant de deux livres, on rend le coin tellement aigu, que ſon propre poids ſuffiſe pour écarter les rouleaux ; enſuite on l'ouvre de maniére que ſa baſe *AB*, ſoit égale à la moitié de la hauteur *K C*.


Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5
Fig. 6
Fig. 8.
Fig. 1.

EFFETS.

1°. Lorſque le coin eſt aſſez aigu, quoiqu'il ne péſe qu'environ 12 onces, ſon effort devient ſuffiſant pour écarter les rouleaux.

2°. Lorſque ſa hauteur égale deux fois la largeur de ſa baſe ; il écarte encore les rouleaux, ſi l'on ajoute un peu plus de 4 onces à ſon poids, c'eſt-à-dire, qu'avec un effort d'une livre il fait équilibre à une force qui eſt double.

EXPLICATIONS.

Si le poids *p* de notre expérience, étoit partagé en deux autres d'une livre chacun, comme *p*, *r*, *Fig.* 9. & que les deux rouleaux *m*,*n*, ne puſſent s'écarter l'un de l'autre ſans faire monter d'autant ces deux poids, il eſt certain que ſans l'interméde de la machine, il faudroit une maſſe égale à deux livres pour leur faire équilibre, & un peu plus pour les faire monter : or nous voyons que par le moyen d'un coin, 12 onces les enlévent ; nous voyons auſſi qu'il en faut un peu plus de 16 pour faire le même effet

IX. Leçon.

quand le coin devient moins aigu : nos deux propositions sont donc prouvées ; il s'agit maintenant d'expliquer le fait.

La force d'un corps qui se meut, ou qui tend à se mouvoir, vient de sa masse & du degré de vîtesse qu'il a ou qu'il auroit si le mouvement avoit lieu. Or le coin *abc* ne peut descendre de toute sa hauteur, que les rouleaux ne parcourent en même-tems les deux espaces *c l*, *c i*, & que par conséquent les deux poids *p*, *r*, ne fassent autant de chemin en montant ; mais ces deux espaces qui égalent ensemble la base *ab*, ne sont que la moitié de la hauteur du coin, de sorte qu'un poids placé en *k* fait dans le même tems deux fois autant de chemin en descendant, que les poids *p*, *r*, en font en montant ; ainsi dans le cas de l'équilibre, le poids *k* doit être à la somme des deux autres en raison réciproque des vîtesses, c'est-à-dire, une livre contre deux, lorsque la ligne *k c* est double de la ligne *ab* : d'où il suit cette proposition générale, *la puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la base du coin est à*

sa hauteur ; ce qui n'a lieu cependant à la rigueur, que quand les forces opposées peuvent être comparées à des poids, comme dans l'expérience précédente.

APPLICATIONS.

Les usages du coin ne sont pas bornés à fendre du bois ou des pierres, & sa forme n'est pas toujours celle d'un morceau de fer grossiérement aiguisé qu'on chasse à coups de marteaux : on peut dire en général que tous les outils tranchans, de quelque nature qu'ils soient, la coignée & la serpe du bucheron, le ciseau & la gouge du sculpteur & du menuisier, la lancette & le scapel du chirurgien, le couteau & le rasoir qui sont entre les mains de tout le monde, sont autant de coins, dont l'angle, la grandeur, la figure, la dureté sont proportionnés à la qualité des matiéres sur lesquelles ils doivent agir, & à l'action du moteur qui doit régler leur effort. Cette observation se présente d'elle-même, lorsqu'on fait attention que tous ces instrumens ont essentiellement deux surfaces plus ou moins in-

IX. LEÇON.

clinées l'une à l'autre, & qui forment toujours, à l'endroit de leur jonction, un angle plus ou moins aigu.

Comme c'eſt l'angle qui eſt la partie eſſentielle du coin, il n'eſt pas néceſſaire qu'il ſoit formé par le concours de deux ſeuls plans; les cloux qui ont quatre faces qui aboutiſſent à une même pointe, les poinçons ronds, les épingles, les aiguilles, &c. dont la ſuperficie peut être regardée comme un aſſemblage de lignes qui ſe réuniſſent à un angle commun, font auſſi l'office de coins, & doivent être conſidérés comme tels.

Il faut remarquer que parmi les différentes ſortes de tranchans, il y en a beaucoup que l'on fait agir en les traînant ſelon leur longueur, en même tems qu'on les appuye directement contre le corps qu'on veut entamer; tels ſont les couteaux, les biſtouris, &c. Ces ſortes d'inſtrumens agiſſent en même tems comme des coins & comme des ſcies; car il faut ſçavoir que le tranchant le plus fin eſt compoſé de parties qui ne ſont pas toutes exactement dans la même ligne: les unes plus hautes que les

autres forment autant de petites dents qu'on peut appercevoir avec le microſcope, & qui ne tiennent pas contre un long uſage ; c'eſt pourquoi l'on a ſoin de les réparer comme on les avoit fait naître, en frottant les faces de la lame ſur une pierre à aiguiſer ; (ce que l'on nomme *donner le fil* :) tout inſtrument qui coupe de cette maniére n'a pas beſoin qu'on l'appuye auſſi fort qu'un autre ; c'eſt pourquoi dans les opérations de Chirurgie on préfére, autant que l'on peut, l'uſage du biſtouri à celui des ciſeaux qui ne coupent qu'en ſerrant, pour éviter la contuſion des parties, & pour épargner de la douleur au malade.

Mais quoiqu'un tranchant ſoit fait pour couper en traînant, comme les couteaux ordinaires, il ne faut point oublier qu'il peut auſſi entamer & diviſer un corps contre lequel il ne ſeroit que preſſé directement. C'eſt une témérité que de frapper, comme on fait quelquefois, avec la paume de la main ſur le tranchant d'un raſoir ; la peau véritablement réſiſte un peu plus quand l'inſtrument n'agit ſur elle que comme un coin, ſurtout s'il

IX. LEÇON.

attaque à la fois une grande étendue ; mais il eſt toujours dangereux d'eſſayer juſqu'où peut aller cette réſiſtance.

Des Vis.

La *Vis* eſt un cylindre ou un cône fort allongé ſur lequel on a creuſé une gorge qui tourne en ſpirale ; la cloiſon qui eſt réſervée entre les tours de cette gorge, s'appelle le *Filet* de la vis ; & la diſtance qu'il y a d'un filet à l'autre ſe nomme le *Pas* : on pratique auſſi ce filet & cette gorge dans une cavité cylindrique pour en faire une vis intérieure ; & quand ces deux ſortes de vis ſont tellement proportionnées que le filet de l'une peut ſe mouvoir dans la gorge de l'autre, & réciproquement, celle qui eſt creuſe prend le nom d'*Ecrou*.

En jettant ſeulement les yeux ſur les *Fig.* 10 *&* 11. on reconnoît facilement que le filet d'une vis, à ne conſidérer que l'endroit qui reçoit l'effort de la réſiſtance, n'eſt autre choſe qu'un plan incliné à la baſe du cylindre qu'il enveloppe ; & que ce plan eſt d'autant plus incliné que les

pas ſont moins grands ; ainſi lorſqu'une vis tourne dans ſon écrou, ce ſont deux plans inclinés dont l'un gliſſe ſur l'autre. La hauteur eſt déterminée pour chaque tour par la diſtance d'un filet à l'autre, & la longueur eſt donnée par cette hauteur, & par la circonférence de la vis ; car ſi l'on développe un de ces filets *a b*, avec ſon pas *b c*, on aura le triangle *a b c*, *Fig.* 10.

Quand on veut faire uſage de cette machine, on attache ou l'on applique l'une des deux piéces (la vis ou l'écrou) à la réſiſtance qu'il faut vaincre, & l'autre lui ſert comme de point d'appui ; alors en tournant, on fait mouvoir l'écrou ſur la vis, ou la vis dans l'écrou, ſelon ſa longueur ; & ce qui réſiſte à ce mouvement, avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers, par exemple, une des deux mâchoires eſt pouſſée par l'action d'une vis contre l'autre, à laquelle eſt fixé un écrou : il faut, comme on voit, que la puiſſance faſſe un tour entier pour faire avancer la réſiſtance d'un pas, c'eſt-à-dire, d'un filet à l'autre : ainſi en la ſuppoſant

IX. LEÇON.

appliquée immédiatement à la circonférence de la vis, l'eſpace qu'elle parcourt, ou ſon degré de vîteſſe, eſt *a c*, & celui de la réſiſtance eſt *b c*; mais comme on fait ordinairement tourner les vis, & ſurtout celles qui ſont groſſes, avec des léviers ou avec quelque choſe d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que ſi elle menoit immédiatement la vis; ce n'eſt plus *a c* qui exprime ſa vîteſſe, c'eſt la circonférence d'un cercle dont le lévier *DE* eſt le demi-diamétre. On peut donc établir en général que dans l'uſage des vis, ſi l'on n'a point égard aux frottemens, *la puiſſance eſt à la réſiſtance dans le cas d'équilibre, comme la hauteur du pas* b c, *eſt à la circonférence que décrit l'extrémité* E *du lévier par lequel on agit*, c'eſt-à-dire, *en raiſon réciproque des vîteſſes*.

Selon la matiére dont on fait les vis, & les efforts qu'elles ont à ſoutenir, on donne différentes formes aux filets; le plus ſouvent ils ſont angulaires, comme dans la *Fig.* 10. ou quarrés comme dans la *Figure* 11. Ceux-ci ſe pratiquent ordinairement

aux grosses vis de métal qui servent aux presses & aux étaux, parce qu'elles en ont moins de frottemens. On fait aux vis de bois des filets angulaires pour leur conserver de la force; car par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte : on donne aussi la même forme aux filets des vis en bois, je veux dire, ces petites vis de fer qui finissent en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois; on doit les considérer, de même que les *mêches* des vrilles & des terriéres, comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant mieux qu'il est plus aigu.

Parmi un grand nombre de machines dont la partie principale est une vis, il en est deux qui tiennent un rang distingué; l'une est cette fameuse vis qui porte depuis près de deux mille ans le nom d'Archimédes son Auteur, & qui peut, dans bien des occasions, s'appliquer fort utilement à élever les eaux; l'autre est *la vis sans fin*, ainsi nommée, parce que son action est continue du même sens, au contraire des vis ordinaires,

IX. LEÇON.

qui se meuvent dans un écrou, & qui cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur.

La vis d'Archimédes est composée d'un cylindre incliné à l'horison, qui tourne sur deux pivots *A*, *B*, *Fig.* 12. & d'un canal ou tuyau qui l'enveloppe en forme d'héllce. Un corps grave placé à l'embouchure *C* du canal, tombe par son propre poids en *d* : lorsqu'on fait tourner la vis, le point *d* du tuyau passe au point *e*, & le mobile que son poids retient toujours à l'endroit le plus bas, se trouve dans le canal au point *f* qui a fait un demi-tour, & qui est venu en *g*. En continuant ainsi, on lui fait parcourir toute la longueur de la vis de bas en haut ; de sorte que par le moyen de cette ingenieuse machine, un corps monte en vertu de la même force qui le fait descendre. Si la partie inférieure de cette vis est plongée dans l'eau, on conçoit facilement que ce canal doit s'emplir à mesure qu'il tourne, & procurer un écoulement par la partie d'en-haut.

Comme cette machine se meut sur deux pivots, une force peu considé-

rable peut la faire tourner, pourvû qu'elle soit bien en équilibre avec elle-même ; mais on ne peut guères s'en servir que pour élever l'eau à une hauteur médiocre, comme lorsqu'il s'agit de dessécher un terrain ; parce que cette vis étant nécessairement inclinée, ne peut porter l'eau à une grande élévation, sans devenir elle-même fort longue, & par-là très-pésante, & sans courir les risques de se courber & de perdre son équilibre.

Ce que l'on nomme ordinairement *Vis sans fin*, est une machine composée d'une vis dont le cylindre ou noyau tourne toujours du même sens sur des pivots qui terminent ses deux extrémités ; les filets de cette vis, qui sont le plus souvent quarrés, mènent en tournant une roue verticale dont ils engrennent les dents. Cette roue porte à son centre un rouleau avec une corde à laquelle on attache le fardeau qu'on veut élever, de la même maniére qu'au treuil. *Voyez la Figure* 13.

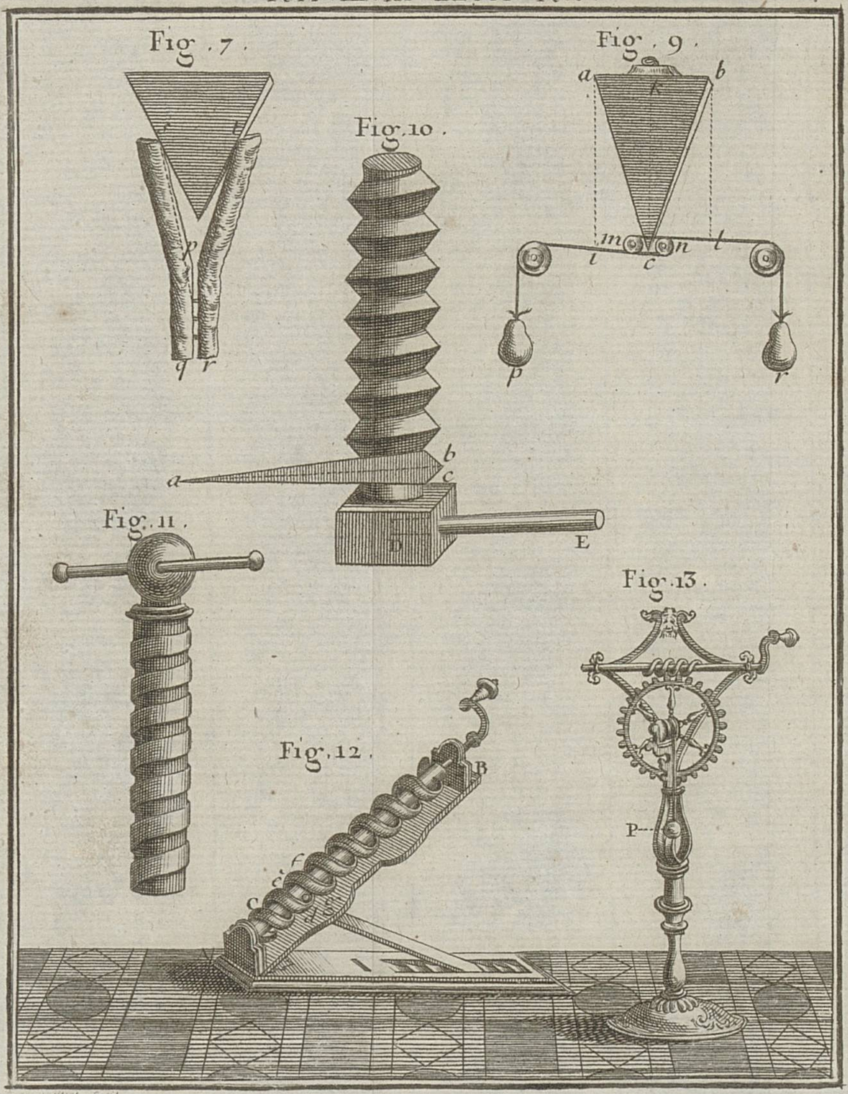
Par le moyen de cette machine, on peut vaincre avec très-peu de force une très-grande résistance : mais cet

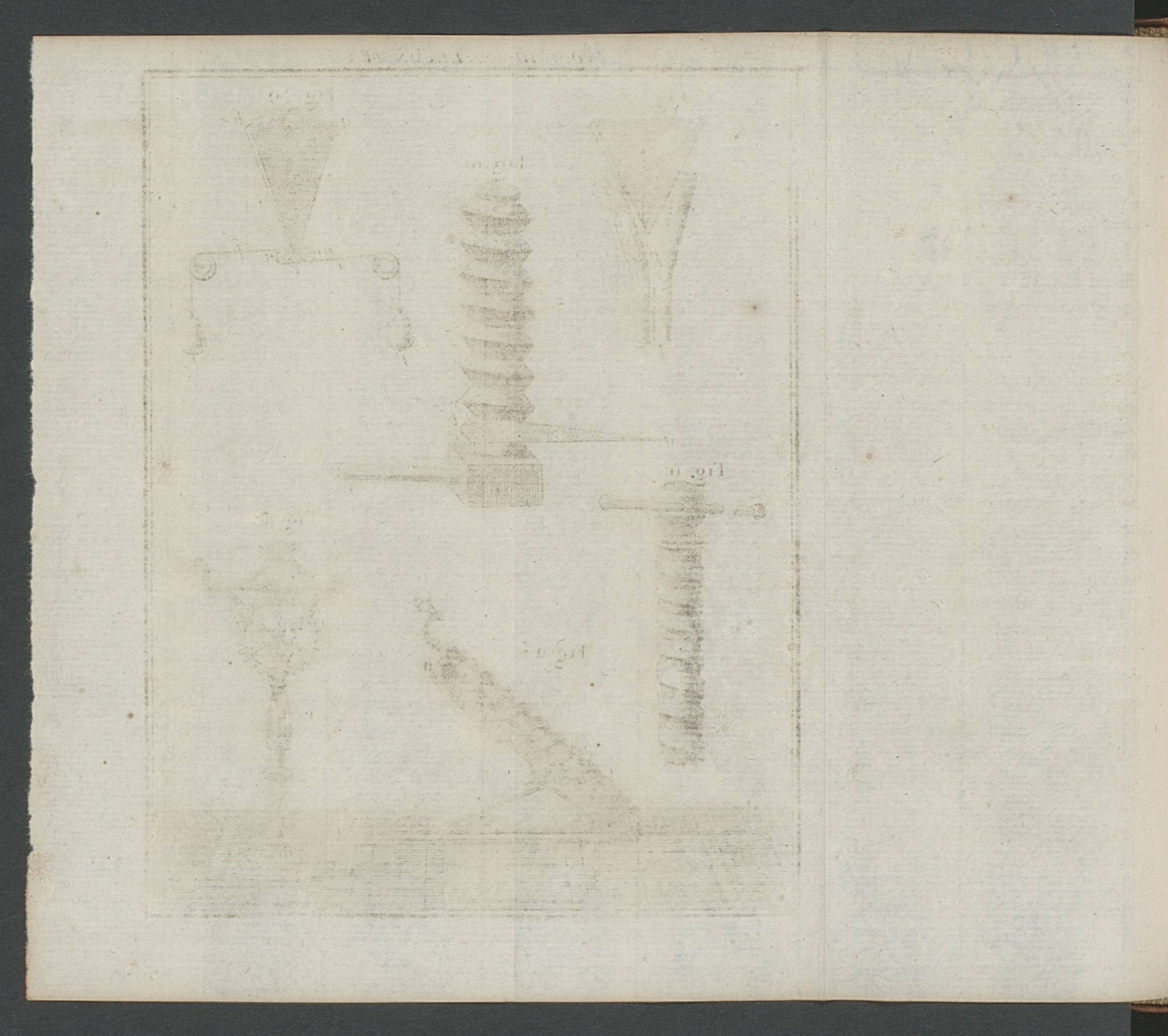
IX. LEÇON.

avantage coûte bien du tems ; car il faut que la vis faſſe un tour entier pour faire paſſer une dent de la roue, & il faut que toutes les dents paſſent pour faire tourner une fois le rouleau; de ſorte que ſi le nombre des dents eſt 100, & que le diamétre du rouleau ſoit de 4 pouces, pour élever la réſiſtance *P* à la hauteur d'un pied, il faut que la puiſſance *F* faſſe tourner 100 fois la manivelle : mais il y a bien des occaſions où cette lenteur eſt le principal objet qu'on ſe propoſe, comme lorſqu'il s'agit de modérer le mouvement d'un rouage, ou bien de faire avancer ou reculer un corps d'une très-petite quantité qu'il importe de connoître.

Dans cette ſection, comme dans la précédente, j'ai toujours fait abſtraction des frottemens, pour n'avoir égard qu'aux effets qui naiſſent de chaque machine conſidérée en elle-même ; il eſt bon d'avertir cependant que dans l'uſage des vis & du coin, il arrive ſouvent que l'effet principal vient des frottemens, & que ſi dans la pratique on négligeoit d'avoir égard à cette eſpéce de réſiſtance, il

y


Fig. 7.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
a
b
c
D
E
P
B
C
p
q
r
m
n
l
k



y auroit bien peu de cas où les forces opposées pussent se comparer avec quelque justesse : deux exemples justifieront cette remarque. Lorsqu'avec un effort équivalent à cent livres on a chassé un coin entre les deux parties d'une buche entr'ouverte, la réaction ou le ressort du bois qui s'oppose à l'effort de la puissance, subsiste toujours quoiqu'on cesse d'agir contre ; pourquoi donc le coin ne revient-il point de lui-même, quand il n'est point fort obtus ? c'est qu'il oppose alors à la pression du bois qui le sollicite à reculer, le frottement de sa surface qui égale ou qui surpasse même la force qui la fait entrer. Quand on a serré les deux mâchoires d'un étau avec la vis, au moment que l'on cesse de la faire tourner, la résistance est en équilibre avec la puissance : sans le frottement de la vis dans son écrou, la moindre force devroit écarter les mâchoires qui ont été serrées ; cependant les plus grands efforts ne le font pas, & c'est en quoi consiste le principal avantage de cet outil.

IX. Leçon.

III. SECTION.

Des Cordes.

Les cordes sont des corps longs & flexibles, quelquefois simples, mais le plus souvent composés de plusieurs fibres ou fils de matiére animale, végétale ou minérale. Les chaînes mêmes, par rapport à l'emploi qu'on en fait dans les machines, doivent être considérées comme des cordes ; car quoique leur structure soit tout-à-fait différente, elles ont les qualités essentielles des cordes, la longueur & la flexibilité qui les rendent propres aux mêmes usages.

En méchanique on employe communément les cordes : 1°. pour changer la direction du mouvement, comme lorsqu'avec une poulie on fait monter un poids par l'effort d'un autre qui descend : 2°. pour transporter la puissance ou la résistance dans un lieu plus avantageux ou plus commode ; c'est par le moyen d'une corde, par exemple, qu'un cheval placé sur le rivage tire un bateau qu'il ne pourroit presque jamais faire mouvoir

autrement : 3°. pour lier, ſerrer, arrêter d'une maniére ſimple & facile toutes ſortes de mobiles qui tendent d'eux-mêmes à ſe déſunir, ou qu'une force extérieure ſollicite à s'écarter ou à ſe déplacer.

IX. LEÇON.

Les cordes par elles-mêmes ne peuvent ni augmenter ni diminuer l'intenſité des forces qui agiſſent contr'elles, ou contre leſquelles on les fait agir ; que la corde avec laquelle on ſonne une cloche ait 15 braſſes, ou qu'elle n'en ait qu'une ou deux, le ſonneur n'en a ni plus ni moins d'effort à faire ; la force d'un cheval eſt la même lorſqu'il tire avec un gros ou avec un petit trait : mais parce qu'une corde eſt plus groſſe ou plus longue, elle eſt plus péſante ; elle ſe courbe, lorſqu'elle n'agit pas dans une direction verticale, & elle eſt moins flexible ; or le poids, la courbure & la roideur des cordes ſont des réſiſtances ou des déſavantages qui exigent un plus grand effort de la part de la puiſſance, & ſur leſquels il eſt néceſſaire de compter dans la pratique.

En parlant des puits où l'on tire l'eau par le moyen de deux ſeaux qui

IX. LEÇON.

montent & descendent alternativement, nous avons déja observé que la corde, dans les tems où elle est plus longue d'un côté que de l'autre, augmente la charge, & que cette augmentation devient considérable, lorsque la profondeur du puits ou du souterrain est grande : on peut dire la même chose des fardeaux que l'on traîne; les cordes ou les chaînes dont on se sert augmentent de leur propre poids la charge sur laquelle on agit.

La résistance qui vient de la pésanteur des cordes croît comme leur solidité ou quantité de matiére ; en les considérant comme des cylindres on doit donc, à longueurs égales, estimer la différence de leur poids par le quarré du diamétre. Si, par exemple, à la place d'une corde qui pése 30 livres, ayant un pouce de diamétre, on en met une autre de même longueur & de même nature qui soit deux fois aussi grosse, celle-ci pésera 120 livres, c'est-à-dire quatre fois autant que la premiére, parce que son diamétre est double.

Non seulement le poids de la corde augmente la somme des résistan-

ces dans l'uſage des machines, mais il arrive encore aſſez ſouvent qu'en la faiſant courber, il fait prendre à la puiſſance une direction moins avantageuſe que celle qu'elle auroit ſi la corde ſe tenoit parfaitement droite. Lorſqu'on tire un fardeau ſur un plan incliné, nous avons fait voir que l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſqu'il eſt dirigé parallélement au plan, comme *A B*, *Fig.* 1. Mais il y a bien des occaſions où la corde, devenant courbe comme *AEB*, à cauſe de ſa longueur & de ſon poids, incline l'action de la puiſſance au plan, & l'affoiblit d'autant.

La longueur ſeule de la corde, indépendamment du poids, peut apporter quelque changement à la direction de la puiſſance. Car ſi elle fait un angle avec le terrain, eu égard à l'élévation de la puiſſance, elle le fait d'autant plus grand qu'elle eſt moins longue : quoique les deux lignes *AC*, *AD*, * ne ſoient ni l'une ni l'autre paralléles au plan *FG* ; cependant la premiére s'écarte davantage du paralléliſme que la derniére : ainſi toutes les fois qu'une force mo-

* *Fig.* 5.

IX. LEÇON.

trice sera appliquée à une résistance, par le moyen d'une corde ou d'une chaîne, il ne faut point avoir égard à sa direction, ou à sa tendance naturelle, mais à celle qui est indiquée par la chaîne ou par la corde qui transmet son effort.

La roideur des cordes, lorsqu'elles ont part au mouvement des machines, est ce qu'il y a de plus important à connoître : elle dépend principalement du poids ou de la force qui tend les cordes, de leur grosseur, de la quantité dont on les courbe, & de la vîtesse avec laquelle on les fait plier. M. Amontons * est le premier qui ait traité méthodiquement cette partie des méchaniques, dont on n'avoit avant lui qu'une idée confuse. Il en a montré l'importance, en faisant connoître que dans les cas les plus ordinaires la roideur seule des cordes peut augmenter d'un tiers la résistance, sur laquelle on doit faire agir la force motrice ; & il nous apprend d'après l'expérience : 1°. Que la résistance causée par la roideur des cordes, augmente en raison directe des poids ou des forces

* *Mém. de l'Académie des Sciences, 1699. pag. 217.*

qui les tiennent tendues : 2°. Que cette même résistance augmente encore comme le diamétre des cordes, toutes choses égales d'ailleurs : 3°. Que les cordes se plient plus difficilement à mesure que les cylindres ou les poulies sur lesquels on les fait tourner, deviennent plus petits, quoique cette derniére résistance n'augmente pas autant que les diamétres décroissent.

PREMIERE EXPERIENCE.

Preparation.

On attache au plancher d'une chambre, ou à quelqu'autre appui solide deux cordes semblables, *A*, *B*, *Fig.* 2. qui pendent parallélement à 5 ou 6 pouces de distance l'une de l'autre, & qui soutiennent une tablette *CD*, sur laquelle on pose des poids. Ces deux cordes font dans le même sens chacune un tour sur un cylindre *EF*, & au milieu on enveloppe en sens contraire un ruban ou un fil au bout duquel on attache un bassin de balance que l'on charge jusqu'à ce qu'il commence à faire rouler le cylindre de haut en bas, comme on le peut

IX. LEÇON.

voir par la *Fig.* 3. On employe dans ces expériences plusieurs paires de cordes, qui sont toutes de même matiére, & dont les diamétres sont différens, & faciles à comparer ; le cylindre doit toujours être du même poids, quoiqu'on varie sa grosseur ; & afin que le ruban ou fil qui pend en *f*, soit toujours à la même distance du point *e* *, on diminue le cylindre en son milieu ; ou bien en évaluant l'effort du poids qui est suspendu au ruban ou fil, on tient compte de la distance du point *f* au point *e*, si elle est augmentée.

* Fig. 3.

Dans cette premiére expérience, le diamétre des cordes est de trois lignes, celui du cylindre, d'un $\frac{1}{2}$ pouce, & l'on charge d'abord la tablette *CD* de 20 liv. & ensuite de 40 liv.

EFFETS.

1°. Lorsque les cordes sont tendues par un poids de vingt livres, il faut que le poids *G* soit de 45 onces, pour commencer à faire descendre le cylindre : 2°. Lorsque l'on tend les cordes avec un poids de 40 liv. le cylindre n'obéit qu'à l'effort de 90 onces.

EXPLICATIONS.

EXPLICATIONS.

Le cylindre par ſon propre poids, ou par celui qui agit en *f*, tend à deſcendre : ſi quelque choſe le retient, ce ne peut être que la corde qui l'enveloppe de part & d'autre ; car ſans cet obſtacle, on conçoit bien qu'il tomberoit : mais cet obſtacle n'en ſeroit point un, ſi la corde avoit une flexibilité parfaite, ſi elle ſe plioit ſans aucune difficulté ; car alors toutes ſes parties s'envelopperoient ſucceſſivement ſur le cylindre, & le laiſſeroient librement paſſer de l'endroit le plus haut à l'endroit le plus bas ; toute la réſiſtance qui céde premiément à 45 onces, vient donc de la roideur des cordes qui ſont tendues par le poids *C D*; & puiſque cette roideur ne peut être vaincue que par 90 onces, quand le poids qui la fait naître, augmente de 20 à 40, c'eſt une preuve qu'elle croît, comme nous l'avons dit, en raiſon directe des forces qui tendent les cordes ; car 45 ſont à 90, comme 20 ſont à 40.

IX. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On employe d'abord une paire de cordes, dont le diamétre eſt de deux lignes ; elles ſont tendues par un poids de 20 livres, & elles enveloppent un cylindre qui a un demi-pouce de diamétre.

Enſuite on fait ſervir une autre paire de cordes une fois plus menues que les précédentes, à qui l'on donne le même degré de tenſion, & que l'on fait tourner ſur le même cylindre.

EFFETS.

Dans le premier cas il faut 30 onces pour vaincre la roideur des cordes ; dans le ſecond il n'en faut que 15.

EXPLICATIONS.

Quand la corde ſe courbe, ſon diamétre perpendiculaire à la ſurface du cylindre qu'elle enveloppe, doit être conſidéré comme un lévier qui a ſon point d'appui au cylindre même;

plus ce diamétre est grand, plus la puissance ou le poids qui tend la corde, est éloigné de ce point d'appui, & par conséquent plus il résiste au poids du cylindre, ou à celui qu'il soutient en *g**. Ou bien l'on peut considérer le diamétre de la corde & celui du cylindre, comme ne faisant qu'un même lévier, dont le centre du mouvement est en *e*; on voit facilement que si le bras *ef* restant le même, *eh* devient plus long, la puissance qui agit en *L* en aura d'autant plus de force pour vaincre celle qui pése en *g*. En considérant ainsi la roideur qui vient de la grosseur des cordes, on voit tout d'un coup pourquoi lorsqu'on double leur diamétre, il faut aussi doubler le poids qui tend à faire descendre le cylindre. On voit de même pourquoi cette espéce de résistance ne croît pas en raison de la solidité des cordes, comme on le pourroit croire, mais seulement en raison des diamétres, comme nous l'avons établi dans notre proposition.

IX. LEÇON.

* Fig. 3.

IX. LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Les cordes étant de trois lignes de diamétre, & tendues par un poids de 60 livres, on employe d'abord un cylindre d'un pouce, & ensuite un autre d'un $\frac{1}{2}$ pouce de diamétre.

EFFETS.

La roideur des cordes avec le premier cylindre céde à 135 onces, & avec le second à 114.

EXPLICATIONS.

Les cordes & les poids qui les tiennent tendues restant les mêmes, leur roideur ne peut varier que par le diamétre du cylindre qu'elles enveloppent. Quand ce cylindre est plus petit, la corde est obligée de se courber davantage; or puisque cette courbure en général est un obstacle à la descente du cylindre, comme nous l'avons fait voir par la premiére expérience, une plus grande courbure doit augmenter la résistance. On pourroit être tenté de croire, que le diamétre du cylindre une fois plus

petit, devroit rendre la même corde une fois plus roide; mais l'expérience fait voir que ce rapport n'a pas lieu ; car 135 onces, à beaucoup près, n'égalent pas deux fois 114, comme le cylindre employé dans le second cas égale deux fois celui du premier, par la grandeur de son diamétre.

APPLICATIONS.

Ce que nous avons prouvé par les expériences précédentes doit servir de régle dans l'usage des poulies, des treuils, des cabestans, &c. toutes ces machines ne peuvent s'employer qu'avec des cordes, ou pour parler plus exactement, les cordes en sont une partie essentielle ; si l'on négligeoit de compter sur leur roideur, on tomberoit infailliblement dans des erreurs considérables, & le mécompte se trouveroit principalement dans les cas où il est le plus important de ne se point tromper, je veux dire dans les grands effets ; car alors les cordes sont nécessairement grosses & fort tendues.

On doit donc avoir soin, 1°. de préférer les grandes poulies aux petites, si la place le permet, non seule-

IX. LEÇON.

ment parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe a moins de frottement, mais encore parce que les cordes qui les entourent, & qu'elles font mouvoir, y souffrent une moindre courbure, & leur opposent par conséquent moins de résistance; cette considération est d'une si grande conséquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, selon la régle de M. Amontons *, on voit clairement que si l'on vouloit enlever un fardeau de 800 livres avec une corde de 20 lignes de diamétre, & une poulie qui n'eût que trois pouces, il faudroit augmenter la puissance de 212 livres pour vaincre la roideur de la corde; au lieu qu'avec une poulie d'un pied de diamétre, cette espéce de résistance céderoit à un effort de 22 liv. toutes choses égales d'ailleurs.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1699. pag. 227.*

On peut juger de là que les poulies moufflées ne peuvent jamais avoir tout l'effet qui devroit résulter du nombre & de la disposition des léviers qu'elles représentent; car dans ces sortes de machines les cordes ont plusieurs retours, & quoique les puissances qui les tendent, chargent

d'autant moins les axes, que les poulies ſont plus nombreuſes, cependant, parce qu'il n'y a point de corde dont la flexibilité ſoit parfaite, en multipliant les courbures, on augmente néceſſairement la réſiſtance qui vient de leur roideur.

Cet inconvénient qui eſt commun à toutes les mouffles, eſt encore plus conſidérable dans celles où les poulies rangées les unes au-deſſus des autres, doivent être de plus en plus petites, pour donner lieu à la corde de ſe mouvoir ſans ſe toucher & ſe frotter. Car nous avons fait voir par la troiſiéme expérience, que la corde a plus de peine à ſe plier, quand elle enveloppe un cylindre d'un plus petit diamétre : les poulies mouflées qui ſont toutes de même grandeur, ſont donc préférables dans les cas où la raiſon que nous venons d'expoſer, n'eſt point combattue par d'autres plus fortes.

Les perſonnes qui ſont dans l'habitude de tourner, ſoit au pied, ſoit à l'archet, ſçavent par leur propre expérience combien il eſt néceſſaire de proportionner la groſſeur de la

IX. Leçon.

corde à celle de la piéce qu'on fait tourner ; si l'on n'a point cette attention, on ne peut jamais exécuter aucun ouvrage délicat entre deux pointes, parce que l'effort qu'il faut faire pour vaincre la roideur de la corde, porte sur la piéce qu'on fait tourner ; cette piéce ne peut le soutenir qu'autant qu'elle est forte de matiére : & rien ne marque mieux combien une corde trop grosse a de peine à se mouvoir, que le peu de tems qu'elle met à s'échauffer & à s'user, quand elle enveloppe une partie fort menue.

Les cordes que l'on employe dans les machines destinées à faire de grands efforts, doivent être durables, parce qu'elles ne se font & ne se réparent qu'à grands frais : elles doivent être capables aussi d'une grande résistance, sans quoi elles deviendroient inutiles, ou elles occasionneroient des accidens fâcheux. Mais ces deux qualités sont difficiles à concilier avec une grande flexibilité, parce qu'elles ne peuvent guères s'acquérir que par une grosseur considérable, & par quelque préparation qui donne nécessairement de la roi-

deur. Les cables qu'on employe dans les bâtimens, & mieux encore ceux qui ſervent dans la navigation, ſeroient d'un uſage bien plus avantageux & plus commode, ſi l'on pouvoit trouver quelque moyen de les rendre plus légers & plus fléxibles, ſans leur ôter la force qui leur eſt néceſſaire, & ſans les rendre moins durables ; le choix des matiéres, la façon de les préparer & de les mettre en œuvre, doivent ſans doute contribuer beaucoup à cet effet ; mais une attention qu'on néglige un peu trop, & qu'on devroit avoir cependant, c'eſt de proportionner les cordes aux efforts qu'elles ont à ſoutenir, de les choiſir aſſez fortes pour ne point manquer, mais de ne rien faire de ſuperflu à cet égard, parce que cette force ſurabondante ne va point ordinairement ſans une augmentation de poids, de roideur, & de frais qu'il eſt toujours utile d'épargner.

La fabrique des cordes a été preſque entiérement abandonnée juſqu'ici à des ouvriers peu intelligens pour la plûpart, qui n'y travaillent que par routine, & qui ſe contentent de ré-

IX. LEÇON.

péter servilement ce que d'autres ont fait avant eux : cet objet cependant est d'une assez grande importance, pour mériter l'attention des sçavans, & l'on ne peut être que très-satisfait de voir qu'il occupe quelques-uns de ceux qui refusent leur tems à des spéculations sublimes, assez souvent inutiles, pour le donner à des choses qui tendent plus directement au bien-être de la société. M. Duhamel du Monceau, pour remplir une partie des vûes que les devoirs de sa place * lui ont fait naître, vient de nous donner un ouvrage qui contient l'art de la Corderie, fondé sur un grand nombre d'expériences qu'on lui a vû faire dans nos Ports. Ce n'est pas seulement une histoire ou une description de ce qu'on a coutume de pratiquer dans les atéliers où l'on fabrique des cordes, mais un recueil d'instructions nouvelles & utiles qui pourront procurer à cet Art la perfection dont il a besoin.

* *Inspecteur général de la Marine.*

APRE's avoir parlé de la roideur des cordes, & de la maniére dont on peut estimer la résistance qui en ré-

ſulte dans les machines, il nous reſte à dire quelque choſe de leur force, & des changemens dont elles ſont ſuſceptibles, lorſqu'elles deviennent alternativement ſéches & humides.

Les cordes qui ſont le plus en uſage dans la méchanique, celles dont il s'agit principalement ici, ſont des aſſemblages de fibres que l'on tire des végétaux comme le chanvre, ou du reigne animal, comme la ſoye ou certains boyaux que l'on met en état d'être filés. Si ces fibres étoient aſſez longues par elles-mêmes, peut-être ſe contenteroit-on de les mettre enſemble, de les lier en forme de faiſceaux ſous une enveloppe commune ; cette maniére de compoſer les cordes, eût peut-être paru la plus ſimple, & la plus propre à leur conſerver cette qualité qui eſt la plus néceſſaire, la fléxibilité : mais comme toutes ces matiéres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'eſt-à-dire, en les tortillant enſemble de maniére que les unes s'uniſſant en partie aux autres, ſont embraſſées & retenues de même par cel-

IX. LEÇON.

les qui ſuivent; le frottement qui naît de cette ſorte d'union eſt ſi conſidérable, qu'elles ſe caſſent plutôt que de gliſſer l'une ſur l'autre ſelon leur longueur : c'eſt ainſi que ſe forment les premiers fils dont l'aſſemblage fait un cordon, & de pluſieurs de ces cordons réunis & tortillés enſemble on compoſe les plus groſſes cordes.

On juge aiſément que la qualité des matiéres contribue beaucoup à la force des cordes ; on conçoit bien auſſi qu'un plus grand nombre de cordons également gros, doit faire une corde plus difficile à rompre ; comme une plus grande quantité de fils forme un cordon d'une plus grande réſiſtance : mais quelle eſt la maniére la plus avantageuſe d'unir les fils ou les cordons ? le tortillement par lequel on a coutume de lier ces aſſemblages, donne-t-il plus de force aux cordes qu'elles n'en auroient, ſi les parties qui les compoſent étoient ſeulement réunies en forme de faiſceaux? c'eſt ce qui ne s'apperçoit pas auſſi facilement ; ſi l'on en croyoit le préjugé, il ſemble qu'on décideroit en faveur du tortillement, parce

que cette façon fait naître une union plus intime entre les parties composantes, & que la force du composé semble dépendre de cette union.

IX. LEÇON.

Il y a même des raisons spécieuses qui ont porté plusieurs Sçavans à juger comme le vulgaire à cet égard : on sçait en général que la force d'un corps dépend de sa solidité, de sa grosseur : le tortillement rend une corde plus grosse qu'elle ne le seroit, si ses fils ou cordons n'étoient qu'assemblés à côté l'un de l'autre ; car c'est un fait certain, qu'en tortillant ensemble 5 ou 6 fils, on rend cet assemblage plus court & plus gros ; il semble donc que cette grosseur acquise aux dépens de la longueur, devroit faire un corps plus difficile à rompre.

D'ailleurs le tortillement fait prendre aux fils une direction qui est oblique à la longueur de la corde qu'ils composent, & comme l'effort d'une corde se fait sur sa longueur, il s'ensuit que la force qui la tient tendue, n'agit qu'obliquement sur les fils, & que par conséquent il en sont plus en état de résister ; car une action

IX. LEÇON.

oblique a moins d'effet qu'un effort qui se fait directement.

Malgré ces vraisemblances, l'expérience a décidé que cette façon que l'on donne aux cordes, commode & avantageuse à d'autres égards, les affoiblit plutôt qu'elle n'augmente leur force. C'est ce qui paroît d'une maniére bien décisive, par un mémoire fort curieux de M. de Reaumur *, où cette matiére paroît avoir été traitée pour la premiére fois, & d'où j'ai tiré les preuves que je vais rapporter.

* *Mém. de l'Académ. des Scienc. 1711. p. 6.*

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On choisit un écheveau de fil à coudre, le plus égal qu'il est possible, on le divise en plusieurs bouts dont on éprouve la force en y suspendant des poids connus jusqu'à ce qu'ils rompent. Lorsqu'on est assuré de ce qu'ils peuvent porter séparément sans se casser, on en tortille ensemble 2, 3, ou 4, &c. pour en faire une petite corde à laquelle on suspend pareillement des poids, pour

ſçavoir combien elle eſt en état d'en ſoutenir. Voyez la *Fig.* 4.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Les fils tortillés, en quelque nombre que ce ſoit, ne portent jamais un poids qui égale la ſomme de ceux qu'ils portoient ſéparément.

EXPLICATIONS.

Si le fil de notre expérience, employé ſimple, a une force équivalente à 6 livres, deux de ces fils *C*, *D*, porteront ſans doute la ſomme de 12 livres ; mais il faut pour cet effet, que l'effort ſoit partagé également à l'un & à l'autre, que chacun des deux n'ait à porter que la moitié de la ſomme totale, c'eſt-à-dire, 6 livres.

Pour faire mieux ſentir la néceſſité de cette condition, imaginons que les deux poids de 6 livres *E*, *F**, ſoient joints enſemble, & de maniére que de cette ſomme de 12 livres, les deux tiers portent ſur le fil *C*, & l'autre tiers ſur *D* : le premier de ces fils caſſera d'abord, parce que, ſuivant notre ſuppoſition, il

* *Fig.* 4.

IX. LEÇON.

ne peut porter que 6 livres, & non pas 8. Mais aussi-tôt qu'il sera rompu par cet effort excessif, l'autre se rompra aussi; parce qu'il se trouvera chargé seul de tout le poids, dont il ne pourroit porter que la moitié. Ainsi, quoique chacun de ces fils puisse résister à un effort de 6 livres, l'un & l'autre ensemble ne peuvent soutenir 12 livres, à moins qu'ils ne soient également chargés. Mais lorsque les deux fils sont tortillés ensemble, il arrive infailliblement que l'un des deux l'est plus que l'autre, & que l'effort du poids est inégalement partagé entr'eux; de-là il arrive qu'ils ne peuvent jamais soutenir ensemble les 12 livres qu'ils auroient porté séparément.

Une autre raison de cet effet, c'est qu'en tortillant ainsi les fils, on les tend; & cette tension tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent soutenir. Ils ne sont donc plus en état de résister autant qu'ils auroient pû faire avant que d'être tortillés.

APPLICATIONS.

Les cables & autres gros cordages

ges qu'on employe, ſoit ſur les vaiſſeaux, ſoit dans les bâtimens, étant toujours compoſés de pluſieurs cordons, & ceux-ci d'une certaine quantité de fils unis enſemble, comme ceux de notre derniére expérience; il eſt évident qu'on n'en doit point attendre toute la réſiſtance dont ils ſeroient capables, s'ils ne perdoient rien de leur force par le tortillement; & cette conſidération eſt d'autant plus importante, que de cette réſiſtance dépend ſouvent la vie d'un grand nombre d'hommes.

Mais ſi le tortillement des fils en général rend les cordes plus foibles, comme nous l'avons fait voir, on les affoiblit d'autant plus, qu'on les tord davantage; & c'eſt une attention qu'on doit faire valoir, ſur-tout dans les fabriques établies pour le ſervice de la marine, de ne tordre qu'autant qu'il eſt néceſſaire pour lier les parties par un frottement ſuffiſant. Il ſeroit bien à ſouhaiter qu'on eût ſur cela une regle à preſcrire aux ouvriers, & qu'on pût compter ſur leur docilité, & ſur leurs ſoins pour l'obſerver.

IX. LEÇON.

Lorſqu'on a quelque grand effort à faire avec pluſieurs cordes en même tems, ce qui empêche aſſez ſouvent de réuſſir, c'eſt qu'on ne les fait point tirer également; & alors elles caſſent les unes après les autres, par les raiſons que nous avons dites cideſſus, & mettent en riſque ceux qui les ont employées. Le tirage égal des cordes qui concourent à un même effort, n'eſt pas toujours auſſi facile qu'il eſt néceſſaire à obtenir; c'eſt un de ces cas aſſez ordinaires en méchanique, où le ſuccès dépend preſque autant de l'adreſſe & de l'intelligence de celui qui opére, que des forces qu'il fait agir.

QUANT aux changemens qui peuvent arriver aux cordes, par la ſéchereſſe ou par l'humidité, ils dépendent principalement de la matiére & de la façon dont elles ſont faites : je ne m'arrêterai ici qu'aux plus remarquables, & à ceux qui ſont de quelque importance dans l'uſage des machines.

Toutes les cordes qui ſont compoſées de pluſieurs fibres, filets ou cordons que l'on a tortillés enſem-

ble, se gonflent & deviennent plus grosses lorsque l'eau les pénétre ; & au contraire à mesure qu'elles se séchent, elles diminuent un peu de grosseur ; mais en devenant plus grosses, elles perdent une partie de leur longueur, & elles se détordent un peu ; ce sont deux faits connus depuis long-tems, & que j'ai souvent constatés par l'expérience suivante.

IX. LEÇON.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

J'attache au plancher, ou à quelqu'autre endroit fixe, des cordes de chanvre, de boyaux, &c. aux bouts desquelles je suspens des poids *H*, *K*, *Fig.* 5. assez forts seulement pour les tenir tendues, & qui finissent en pointe au-dessus & fort près de la tablette *IL* ; au bout de chacune des cordes, immédiatement au-dessus du poids, je place un petit index de carton, *g*, ou *h*, qui fait un angle droit avec la corde que je mouille ensuite d'un bout à l'autre, par le moyen d'une éponge, ou autrement.

IX. LEÇON.

EFFETS.

On remarque 1ment, que les cordes s'accourciſſent, parce que les poids qui les tiennent tendues, s'élevent un peu au-deſſus de la tablette : 2ment, qu'elles ſe détordent, par le mouvement de l'index qui tourne peu-à-peu de droite à gauche.

EXPLICATIONS.

L'eau s'introduit dans une corde, comme elle entre dans tous les corps poreux ; elle en écarte les parties, & par cette raiſon la corde mouillée devient plus groſſe. Mais les parties d'une corde ſont des fibres qui ſe croiſent un grand nombre de fois par le tortillement, & qui ne peuvent s'écarter l'une de l'autre, ſans former un ventre, & ſans que les extrémités ſe rapprochent ; de-là vient le raccourciſſement de toute la corde. Les particules d'eau qui ouvrent les petits interſtices qui ſont entre les fibres, dilatent auſſi ceux qui ſe trouvent entre les cordons, & cette dilatation fait que la corde devient un peu moins torſe.

Ce qu'il y a de plus remarquable, c'eſt que ces effets ont lieu, nonobſtant les poids qui tiennent les cordes tendues, & ces poids peuvent être aſſez conſidérables ; c'eſt un des exemples qu'on peut citer pour faire voir que de très-petites forces multipliées, ſont capables de produire de grands efforts. Une expérience qui eſt aſſez curieuſe par elle-même, & que je vais rapporter, apprendra comment un fluide qui s'introduit dans une corde, peut la rendre plus courte en la groſſiſſant, quoiqu'une puiſſance conſidérable s'oppoſe à cet effet.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *C*, *Fig.* 6. ſont des veſſies qui communiquent enſemble par des petits bouts de tuyaux qui ſervent à les joindre : *D* eſt un poids de 30 livres, qui repoſe ſur le pied de la machine, quand les veſſies ſont vuides.

EFFETS.

Quand on ſouffle de l'air dans les veſſies par le tuyau qu'on voit en *E*,

IX. Leçon.

elles s'enflent, & le poids s'éleve de plusieurs pouces.

Explications.

L'air qui s'introduit dans les vessies les dilate ; mais les parois *AA*, *BB*, *CC*, ne peuvent s'écarter l'une de l'autre que les extrémités de chaque vessie ne se rapprochent, & que tout l'assemblage par conséquent ne devienne plus court, & n'oblige le poids à s'élever.

Pour concevoir comment on peut élever par un simple souffle un poids aussi considérable, il faut faire attention que tout son effort se partage également à toute la surface des vessies ; l'orifice du canal *E e*, n'occupe qu'une très-petite partie de cette surface; s'il n'en occupe qu'un $\frac{1}{1000}$, par exemple, la résistance qui s'oppose à son embouchure, & qu'il faut vaincre pour introduire l'air en soufflant, n'est donc que la $\frac{1}{1000}$ partie de 30 livres.

* Fig. 6.

Les côtés *b A b*, *cAc*, * d'une de ces vessies représentent assez bien les fibres qui composent les cordes ; comme l'air dilate les unes, l'humidité enfle les autres, & leur fait faire de grands efforts.

APPLICATIONS. IX. LEÇON.

Ce qui arrive aux cordes que l'on mouille, se fait de même à l'égard des fils tords qu'on doit considérer comme des petites cordes, soit qu'on les employe simples, soit qu'on en forme des tissus. C'est pourquoi les toiles neuves se raccourcissent au premier blanchissage ; & généralement on voit toutes les étoffes se retirer lorsqu'on les mouille : celles qui sont fabriquées avec deux sortes de fils placés en différens sens, se retirent inégalement, & font prendre une mauvaise forme aux ouvrages ausquels on les fait servir. Les bas & les gands tricotés ne se mettent & ne peuvent s'ôter qu'avec peine lorsqu'ils sont humides ; cette difficulté ne vient que du rétrécissement causé par les particules d'eau qui ont gonflé les fils ; sans cela, l'interposition d'un fluide ne serviroit qu'à les faire glisser plus aisément sur la peau.

Le moyen de raccourcir les cordes en les mouillant, pourroit être d'un grand secours en certains cas : on dit (& c'est une tradition assez reçue,) qu'en élevant un obélisque à

IX. LEÇON.

Rome ſous le Pontificat de Sixte V, l'entrepreneur ſe trouvant embaraſſé, parce que les cordes étoient un peu trop longues, quelqu'un cria : *Mouillez les cordes ;* & que cet expédient ayant été tenté, réuſſit parfaitement. Pour vérifier ce fait, j'ai eu la curioſité de parcourir quelques ouvrages où l'on voit avec un grand détail, tout ce que Dominique Fontana fit par les ordres du Pape, depuis 1586. juſqu'à la fin de 1588. pour relever quatre anciens obéliſques qui étoient enſevelis ſous des ruines ; ſçavoir, celui du Vatican, qui fut placé devant l'Egliſe de ſaint Pierre ; un autre qui avoit ſervi au mauſolée d'Auguſte, & qui fut placé devant l'égliſe de S. Roch; deux autres enfin qui étoient du grand cirque, & dont l'un eſt aujourd'hui devant ſaint Jean de Latran, & l'autre devant ſainte Marie du Peuple ; dans toutes mes recherches, je n'ai pas vû un mot des cordes mouillées : je ne crois pas cependant que cette anecdote eût été obmiſe dans ces deſcriptions, qui ſont à tous égards très-circonſtanciées ; je croirois donc volontiers que le fait eſt

apocriphe ;

apocryphe ; mais ſa poſſibilité n'eſt conteſtée de perſonne, & on la peut conclure des expériences que nous avons rapportées ci-deſſus.

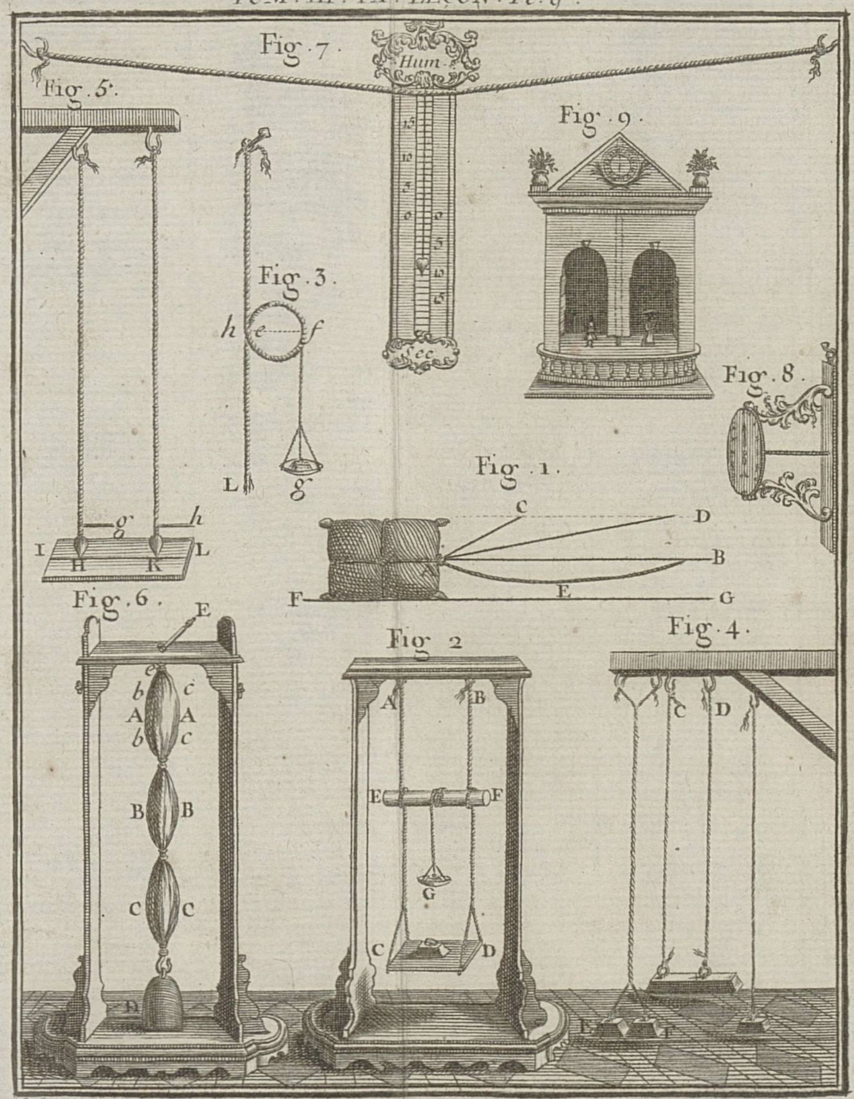
Il eſt à propos d'obſerver ici que les cordes mouillées ne peuvent vaincre de grandes réſiſtances en ſe raccourciſſant, qu'autant qu'elles ſont faites de matiéres peu ſuſceptibles d'allongement par elles-mêmes, telles que ſont les fibres des végétaux ou la ſoie : ſi l'on mouille des cordes de boyaux, quoiqu'elles tendent à ſe raccourcir par les raiſons que nous avons dites, cependant on les allongeroit infailliblement en les tirant avec une certaine force, parce que les fibres qui les compoſent ſont extenſibles en toutes ſortes de ſens, & elles le ſont d'autant plus alors, que l'humidité en les pénétrant, augmente leur ſoupleſſe.

Comme l'humidité & la ſéchereſſe ont des effets ſenſibles ſur les cordes, on a tâché d'en profiter pour connoître l'état de l'atmoſphére à cet égard; ces inſtrumens qu'on nomme *Hygrométres*, & à qui l'on donne tant de formes différentes, conſiſtent prin-

IX. LEÇON.

cipalement en une corde de chanvre ou de boyaux qui marque en s'allongeant & en ſe raccourciſſant, ou bien en ſe tordant & en ſe détordant, s'il regne dans l'air plus ou moins d'humidité. Le plus ſimple de tous ſe fait avec une corde de 10 ou 12 pieds que l'on tend foiblement dans une ſituation horizontale & dans un endroit à couvert de la pluie, quoiqu'expoſé à l'air libre ; on attache au milieu un fil de laton, au bout duquel on fait pendre un petit poids qui ſert d'index, & qui marque ſur une échelle diviſée en pouces & en lignes les degrés d'humidité en montant, & ceux de la ſéchereſſe en deſcendant. *Voyez la Figure* 7.

Aſſez ſouvent on fait des hygrométres avec un bout de corde de boyaux que l'on fixe d'un côté à quelque choſe de ſolide, & que l'on attache par l'autre, perpendiculairement à une petite traverſe qui tourne à meſure que la corde ſe tord ou ſe détord, & qui marque, comme une aiguille, ſur la circonférence d'un cadran, les degrés de ſéchereſſe & d'humidité, *Fig.* 8, ou bien on place ſur



R. Brunet fecit

les extrémités de la petite barre deux figures humaines de carton ou d'émail, dont l'une rentre & l'autre sort d'une petite maison qui a deux portiques, lorsque le sec ou l'humide fait tourner la corde ; & l'on fait porter un petit parapluie à celle des deux figures que le mouvement de la corde fait sortir lorsque l'humidité augmente. *Voyez la Fig. 9.*

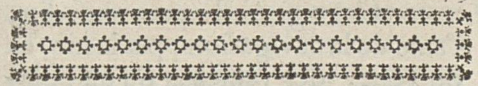
Les hygrométres que l'on fait de cette façon ou d'une maniére équivalente, en cachant la corde pour y mettre un air de mystére, ne sont bons que pour amuser les enfans ; & l'on ne doit point s'attendre qu'ils apprennent quel est l'état actuel de l'atmosphére, par rapport à l'humidité & à la sécheresse, parce qu'on les garde dans des appartemens fermés, & que la corde, qui en est l'ame, est contenue comme dans un étui, où l'air ne se renouvelle que peu ou point.

Enfin le meilleur de ces instrumens n'apprend presque rien autre chose, sinon que la corde est mouillée ou qu'elle est séche : car, 1°. l'humidité qui l'a une fois pénétrée n'en sort que

IX. LEÇON.

peu-à-peu, & ſelon l'expoſition du lieu, le calme ou le vent qui régne ; & bien ſouvent il arrive que l'atmoſphére a déja perdu une grande partie de ſon humidité, avant que la corde en puiſſe donner aucun ſigne : 2°. Tout ce qu'on peut attendre d'un hygrométre à corde, c'eſt qu'il faſſe connoître s'il y a plus ou moins d'humidité dans l'air, par comparaiſon au jour précédent ; & l'on ſçait cela par tant d'autres ſignes, qu'il eſt aſſez inutile de faire une machine qui n'apprend rien de plus. Ce qu'il importeroit le plus de ſçavoir, c'eſt de combien l'humidité ou la ſéchereſſe augmente ou diminue d'un tems à l'autre, & de pouvoir rendre ces ſortes d'inſtrumens comparables ; ſans cet avantage, que les hygrométres à cordes n'auront probablement jamais, ils ne méritent guères qu'on les compte au nombre des inſtrumens météorologiques.





X. LEÇON.

Sur la nature & les propriétés de l'Air.

X. LEÇON.

IL eſt peu de matiéres dont la connoiſſance nous intéreſſe autant que celle de l'air : ce fluide, dans lequel nous ſommes plongés dès l'inſtant de notre naiſſance, & ſans lequel nous ne pouvons vivre, mérite ſans doute l'attention de tous les êtres penſans qui le reſpirent : ſon action continuelle ſur nos corps a beaucoup de part aux differens états qu'ils éprouvent ; nous avons ſans ceſſe quelque choſe à eſpérer ou à craindre des changemens dont il eſt ſuſceptible. C'eſt par les propriétés & par les influences de l'air, que la nature donne l'accroiſſement & la perfection à tout ce qu'elle fait naître pour nos beſoins & pour nos uſages : c'eſt par l'air qu'elle tranſporte & qu'elle diſtribue les ſources de la fécondité aux différentes parties de la

X. LEÇON.

terre. L'air agité eſt, pour ainſi dire, l'ame de la navigation : par le moyen du vent, des vaiſſeaux qu'on pourroit regarder comme autant de villes flotantes, paſſent d'un bord à l'autre de l'Océan ; & l'on voit tous les jours en commerce des nations qui ſembloient devoir s'ignorer perpétuellement, eu égard à la diſtance des lieux. Le ſon, la voix, la parole même ne ſont qu'un air frappé, un ſouffle modifié, qui devient le véhicule de nos penſées, & qui a le pouvoir d'exciter & de calmer les paſſions. (*a*) Tant de merveilleux effets ne peuvent s'apprendre avec indifférence : l'eſprit qui eſt capable de les admirer, ne peut être inſenſible au plaiſir d'en connoître les cauſes.

En quelqu'endroit qu'on ſe tranſporte ſur la terre, ſoit qu'on change de climat, ſoit qu'on s'éleve des lieux les plus bas à la cime des plus hautes montagnes, on ſe trouve toujours dans l'air ; on ne connoît aucun lieu ni aucun tems où ce fluide ait man-

(a) *Ipſe aer nobiſcum videt, nobiſcum audit, nobiſcum ſonat ; nihil enim eorum ſine eo fieri poteſt.* Cic. de Nat. Deor. lib. 2. cap. 33.

qué : cette considération nous autorise à croire que le globe que nous habitons est entouré d'air de toutes parts : & cette espéce d'enveloppe que l'on nomme communément l'*Atmosphére*, a des fonctions si marquées, elle a tant de part au méchanisme de la nature, qu'on ne peut point douter qu'elle n'ait commencé avec la terre, & qu'elle ne doive durer autant qu'elle.

En qualité d'atmosphére terrestre, l'air a des propriétés qui ne lui appartiennent plus, lorsqu'on n'en considére qu'une petite portion, & que l'on fait abstraction de tout ce qui pourroit s'y mêler d'étranger ; comme ces propriétés ne sont, pour ainsi dire, qu'accidentelles, & qu'elles ne procédent pas directement de la nature de l'air, mais plutôt de sa quantité, de la figure de sa masse, de son mélange avec d'autres corps, &c. je crois qu'il est à propos de commencer par établir celles qu'il a toujours en qualité d'air, & indépendamment des conditions dont nous venons de parler.

X. Leçon.

PREMIERE SECTION.

De l'Air considéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de sa masse.

Il est presqu'inutile de dire que l'air est une substance matérielle : si l'on excepte les enfans qui n'ont point encore fait usage de leur raison, ou des hommes grossiers & sans éducation qui n'ont jamais réfléchi sur les choses les plus communes, il n'y a personne maintenant qui ne reconnoisse dans ce fluide les principaux attributs qui caractérisent les corps, l'étendue, la divisibilité, la résistance, &c. tout le monde sçait qu'il peut recevoir & transmettre le mouvement ; & si l'on dit qu'un vase est vuide quand on en a répandu l'eau, c'est une expression autorisée par l'usage, mais dont on reconnoît généralement la fausseté ou le peu de justesse.

Les Auteurs anciens, comme les modernes, ont reconnu que l'air est

une matiére. Ceux d'entr'eux qui l'ont qualifié d'*esprit*, ont sans doute employé ce terme dans le sens figuré, pour exprimer la subtilité de ce fluide, ou pour faire entendre combien il est nécessaire, pour la vie des animaux, & pour l'accroissement des plantes; ou s'il faut prendre cette expression littéralement, on a tort de traduire le mot latin *Spiritus* par celui d'*Esprit*; il signifie également un souffle, un air agité, & l'on doit croire qu'aucun Physicien ne l'a entendu autrement. Au reste l'autorité n'a point de force lorsqu'elle se trouve en contradiction avec l'expérience; l'usage de l'éventail fait sentir la résistance de l'air aux personnes mêmes qui cherchent le moins à s'en convaincre; & lorsque nous avons prouvé l'impénétrabilité des corps en général, les expériences que nous avons employées ont fait connoître spécialement celle de l'air.

Quelques Physiciens * ont pensé que l'air pourroit bien n'être autre chose qu'un mélange des particules les plus subtiles qui s'exhalent de tous les autres corps, & qui étant trop di-

* *Otto de Guerike, Exper. nov. Magdeb. lib. 2. c. 1. & lib. 4. c. 1.*
Boyle, Exp. Phys. Mech.

X. LEÇON.

edit. Genev. 1677. p. 69. s'Gravesande, Physices Elem. Mathem. pag. 36. edit. 1742.

visées pour reprendre leur premiére forme, demeurent sous celle d'un fluide particulier qu'elles composent: mais outre que cette opinion n'est appuyée sur aucune preuve, l'air a des propriétés constantes, des caractéres inaltérables par lesquels il se fait toujours connoître, & qui ne manqueroient pas de varier selon les circonstances du tems & du lieu, s'il étoit vrai qu'ils dépendissent de la décomposition de plusieurs matiéres & de l'assemblage de tant d'extraits. Il est donc plus naturel de penser que l'air est une espéce de substance particuliére, dont la nature est fixe, que ses parties intégrantes sont homogénes, ou que ses principes sont unis de tout tems, pour ne céder à aucun des efforts que nous pourrions faire pour le décomposer.

La fluidité de l'air est telle qu'on ne la voit jamais cesser, tant que ses parties se touchent, & que leur contiguité n'est point interrompue par une trop grande quantité de matiére étrangére. Nous voyons communément des liqueurs se glacer par le froid ; certains fluides comprimés

ceſſent de couler, & ſe fixent ſous la figure qu'on leur fait prendre : mais dans quelque climat & dans quelque ſaiſon que ce ſoit, on ne voit jamais aucune partie de l'atmoſphére devenir ſolide ; & la compreſſion la plus forte qu'on ait jamais employée, n'a pû durcir ou fixer l'air. La fluidité eſt-elle donc de ſon eſſence ? eſt-il abſolument impoſſible qu'il la perde ? c'eſt ce que l'on ne voit pas ; mais auſſi ce ſeroit une témérité d'avancer le contraire, ſans en apporter des preuves.

Cette fluidité ſi conſtante de l'air viendroit-elle de la ſeule ſubtilité de ſes parties, comme l'a penſé un ſçavant Chymiſte * ? c'eſt ce que l'on ne préſumera pas, ſi l'on fait attention que l'eau, & quelques autres liqueurs, qui ceſſent d'être fluides par un grand froid, paſſent à travers de certains corps que l'air ne peut jamais pénétrer ** ; car ſi la ténuité des parties étoit capable d'entretenir conſtamment la fluidité, ou l'eau ne devroit pas ſe glacer plus que l'air, ou l'air, qui ne ſe glace jamais, devroit avoir des parties plus fines, plus pénétrantes que ne le ſont celles

* *Boerhaave Chemia*, tom. I. p. 230.

** *Boyle*, *nov. Exper. Phyſ. Mech. edit. Genev.* p. 108.

X. LEÇON.

de l'eau. Or c'eſt un fait conſtaté par M. de Reaumur *, que l'air ne paſſe point à travers du papier mouillé, & de quelques autres matiéres qui ſont très-propres à filtrer l'eau; d'où il réſulte que les parties de l'air ſont plus groſſiéres ou moins ſubtiles que celles de l'eau, à moins que la figure dans les unes ne compenſe la ténuité des autres.

* *Mém. de l'Académie des Sciences, 1714. pag. 59.*

Il eſt aſſez vraiſemblable que l'air demeure conſtamment fluide, parce qu'il eſt parfaitement élaſtique : s'il n'étoit que compreſſible, ſes parties rapprochées pourroient peut-être ſe toucher d'aſſez près pour former un corps dur, & rien ne les obligeroit à ſortir de cet état, comme la neige preſſée entre les mains prend la figure & la conſiſtance d'une boule ſolide : mais le reſſort qu'elles ont, tend toujours à rarefier la maſſe qu'elles compoſent, parce que la plus forte compreſſion ne peut que le tendre & non pas le forcer; par ce moyen ces parties conſervent cette mobilité reſpective en quoi conſiſte la fluidité.

On peut concevoir les parties intégrantes de l'air comme des petits

filamens contournés en forme de ſpires flexibles & élaſtiques, & leur aſſemblage à-peu-près comme un paquet de coton ou de laine cardée que l'on peut réduire en un plus petit volume lorſqu'on le preſſe, mais qui tend toujours à ſe remettre dans ſon premier état. Cette idée n'eſt qu'une eſquiſſe bien groſſiére de la nature de l'air; & j'avoue qu'il y a peut-être cent contre un à parier, que les parties de cet élément n'ont point la figure que je leur attribue, parce que pour les ſuppoſer telles, je n'ai d'autre raiſon que leur flexibilité & leur reſſort, & qu'elles peuvent être élaſtiques avec cent figures différentes d'un filet ſpiral : auſſi lorſque j'adopte cette hypothéſe avec la plupart des Phyſiciens, je ne prétends point dire ce qu'elles ſont, mais ſeulement ce qu'elles peuvent être; & c'eſt moins pour prendre un parti ſur leur figure, que pour être en état de faire mieux connoître le reſſort admirable du fluide qu'elles compoſent, & quelques autres propriétés dont nous parlerons ci-après.

ON dit communément que l'air eſt

X. LEÇON.

ſec ; mais pourquoi lui attribue-t-on cette qualité ? eſt-ce parce qu'il enléve de la ſurface des corps l'humidité qui s'y trouve ? En effet, il arrive aſſez ſouvent qu'il fait l'office d'une éponge ; mais auſſi dans pluſieurs cas il rend humides les corps qu'il touche, parce que les parties aqueuſes dont il eſt toujours plus ou moins chargé, s'attachent à certaines matiéres plus facilement & plus fortement qu'à l'air même : on expoſe du linge à l'air pour le faire ſécher ; mais le même procédé auroit un effet tout contraire à l'égard du ſel de tartre ou de quelque autre ſel ; c'eſt pourquoi les cordes ou les toiles qui ont trempé dans l'eau de la mer ſe ſéchent difficilement à l'air, parce que l'eau demeure opiniâtrément attachée aux particules ſalines qui tiennent à la ſuperficie.

Dira-t-on que l'air eſt ſec, parce qu'il ne mouille pas comme les liqueurs ? alors il faut convenir de ce qu'on doit entendre par le terme de *mouiller* ; s'il ſignifie adhérer à la ſurface des corps ſolides, on doit demeurer d'accord que l'air mouille au

moins un grand nombre de matiéres : car c'eſt un fait certain que ſi l'on verſe dans un vaſe quelque liqueur qui oblige l'air d'en ſortir, il demeure toujours une couche de ce fluide adhérente aux parois ; on ne l'apperçoit pas communément, parce qu'elle eſt fort mince & tranſparente ; mais elle devient ſenſible quand on la dilate, ſoit qu'on chauffe fortement le vaſe, ſoit qu'on le mette dans le vuide : & c'eſt par cette raiſon qu'un barométre qui n'a point été rempli au feu, c'eſt-à-dire, dont le mercure n'a point bouilli dans le tube, paroît terne ; & qu'on y apperçoit une infinité de petites bulles d'air qui ſont demeurées attachées au verre. Si mouiller ſignifie cette impreſſion qui ſe fait ſur la peau lorſque nous touchons une liqueur, impreſſion toujours différente de celle d'un corps ſolide, parce que les parties mobiles entr'elles & très-déliées, ſe moulent dans les pores, & procurent un attouchement plus exact & plus complet ; dans ce ſens l'air mouille auſſi, & ſi nous nous en appercevons moins, c'eſt que l'im-

X. Leçon.

pression qu'il a coutume de faire sur notre peau nous est plus familiére : sa façon de mouiller est différente, sans doute, de celle des liqueurs, comme celles-ci mouillent aussi différemment les unes des autres ; l'esprit-de-vin mouille autrement que l'eau, & l'eau ne mouille pas comme l'huile ; c'est-à-dire, que leur application sur la peau excite des sensations différentes.

Dés que l'on sçait par un nombre infini d'observations familiéres, que l'air est matériel, que ses parties réunies forment une masse résistante, mobile, & capable de mouvoir d'autres corps, il est presque superflu d'examiner s'il est pésant : car quoique la pésanteur ne soit pas un attribut essentiel à la matiére, & qu'on puisse bien la concevoir sans cette tendance au centre de la terre ; cependant nous n'avons aucun exemple à citer qui nous autorise à excepter l'air de cette loi commune ; & nous devons présumer qu'il y est assujetti comme les autres corps sublunaires, à moins que nous n'ayons des preuves du contraire.

Mais bien loin d'avoir aucune rai-

ſon pour attribuer à l'air une légéreté abſolue, des faits ſans nombre nous forcent à reconnoître ſon poids: nous en avons rapporté pluſieurs en traitant de l'hydroſtatique; en voici d'autres qui le prouvent directement.

PREMIERE EXPERIENCE.

Preparation.

La *Figure* 1. repréſente une de ces pompes que l'on nomme communément, *Machines pneumatiques* : quoique ce nom, à le prendre ſelon ſon étymologie, convienne également à toutes les machines qui ſervent aux expériences qu'on fait ſur l'air ; cependant par un uſage qui a prévalu, il déſigne ſpécialement celle avec laquelle on fait le *vuide*, c'eſt-à-dire, avec laquelle on pompe l'air d'un vaiſſeau, apparemment parce qu'elle a plus de célébrité que les autres, & que par ſon moyen on a fait un grand nombre de curieuſes & utiles découvertes en ce genre. Son premier Auteur fut Otto de Guerike, Conſul ou Bourguemeſtre de Magdebourg, qui commença à la faire connoître à Ra-

X. LEÇON.

tiſbone l'an 1654. Quelques années après, Boyle en fit conſtruire une à peu-près ſemblable qu'il a beaucoup perfectionnée depuis. Le grand uſage que fit de cette machine le Philoſophe Anglois, & le ſuccès de ſes expériences, firent perdre de vûe le Magiſtrat Allemand à qui l'on en doit l'invention, de ſorte qu'à préſent le principal effet de cette pompe ſe nomme communément *le Vuide de Boyle*. M. Homberg touché des progrès qu'avoit fait la Phyſique en Allemagne & en Angleterre, par le moyen de cette ingénieuſe machine, & n'ignorant pas de quelle utilité elle pouvoit être entre les mains des Sçavans, chercha les moyens de la rendre plus exacte qu'elle n'avoit été juſqu'alors ; & par ſes ſoins, l'Académie royale des Sciences, dont il étoit membre, en fit faire une il y a environ 45 ans, que l'on voit encore au Jardin du Roi parmi les inſtrumens qui lui appartiennent. Enfin depuis que j'ai embraſſé une profeſſion qui me rend l'uſage de cette pompe auſſi fréquent que néceſſaire, je me ſuis appliqué à la rendre telle, qu'elle pût

être d'un ſervice plus sûr, plus commode & plus étendu qu'elle n'avoit été précédemment ; on pourra juger ſi j'ai rempli ces trois objets, en liſant dans les Mémoires de l'Académie pour les années 1740 & 1741, les changemens & les augmentations que j'ai faits à cette machine, dont on trouvera l'hiſtoire & la deſcription, avec un détail que je ne puis me permettre ici.

X. LEÇON.

Je dirai ſeulement, pour faciliter l'intelligence des faits que j'ai à rapporter dans la ſuite de cette Leçon, que la machine pneumatique dont je me ſers eſt compoſée de ſix parties principales, ſçavoir, 1°. d'un corps de pompe de cuivre *A* : 2°. d'un piſton dont le manche eſt terminé en forme d'étrier *B*, pour être abbaiſſé avec le pied, & garni d'une branche montante avec une poignée *C*, pour être relevé avec la main : 3°. d'un robinet dont on voit la clef en *D* : 4°. d'une platine couverte d'un cuir mouillé, ſur lequel on poſe le récipient ou la cloche de verre *E* : 5°. d'un pied *FG*, avec deux tablettes *H*, *H*, qui peuvent ſe hauſſer & ſe baiſſer à volonté:

X. LEÇON.

60. d'un rouet *I K L*, avec lequel on peut tranſmettre un mouvement très-rapide dans un récipient, après qu'on en a pompé l'air.

Comme on ne peut pas faire le vuide d'un ſeul coup, il faut qu'on puiſſe remonter le piſton ſans faire rentrer dans le récipient l'air qu'on en a ôté, & qui a paſſé dans le corps de la pompe : pour cet effet la clef du robinet eſt percée de façon qu'en lui faiſant faire un quart de tour, on ouvre une communication par laquelle le piſton, en ſe relevant, pouſſe l'air du dedans au dehors de la pompe, & l'on ferme en même-tems tout accès du côté du récipient : enſuite en remettant la clef dans la premiére ſituation, on eſt en état de donner un nouveau coup de piſton.

Les autres fonctions de cette machine dépendent des propriétés mêmes de l'air que je dois faire connoître ; c'eſt pourquoi je différe d'en parler juſqu'à ce que j'aye donné une idée aſſez étendue de ce fluide ſur lequel elle agit.

La *Fig*. 2. eſt un ballon de verre qui contient environ 15 pintes de Pa-

ris : le col eſt garni d'une virolle de cuivre, & d'un robinet qui s'ajuſte à une vis qui excéde de quelques lignes la platine de la machine pneumatique au centre, de ſorte qu'on peut le vuider d'air, & le garder en cet état.

La *Fig*. 3. eſt une balance très-mobile à laquelle on met en équilibre le ballon vuide ; & pour conſerver au fleau une plus grande mobilité par la diminution des frottemens de ſon axe, on peut péſer le ballon dans l'eau, ce qu'il eſt aiſé de faire en y attachant des poids qui l'obligent à ſe plonger entiérement : alors la balance n'eſt chargée que de la péſanteur reſpective du balon pllongé, qui peut être diminuée autant que l'on veut, & du poids que l'on met de l'autre part pour le tenir en équilibre, comme nous l'avons fait voir dans la huitiéme Leçon, par les expériences qui prouvent la ſeconde propoſition.

EFFETS.

Lorſqu'on ouvre le robinet du ballon ſuſpendu pour y laiſſer rentrer l'air, & qu'on le referme enſuite pour

X.
LEÇON.

le laiſſer ſe plonger ſans que l'eau y puiſſe entrer, il ſe trouve toujours plus péſant que le poids de l'autre part avec lequel il étoit d'abord en équilibre.

EXPLICATIONS.

Cette expérience eſt la plus ſimple & la plus déciſive de toutes celles qu'on employe pour prouver que l'air a une péſanteur abſolue ; car on ſçait que dans l'uſage de la balance ordinaire un poids ne peut être enlevé que par un plus grand poids ; puiſque le ballon devient plus péſant dès qu'il s'emplit d'air, c'eſt une marque certaine que cette augmentation vient du fluide qu'il a reçu.

On dira peut-être que le ballon, en ſe rempliſſant, ne reçoit point ce nouveau poids de l'air même qui y rentre, mais plutôt des corps étrangers, & des vapeurs aqueuſes dont il eſt toujours chargé, & qui s'introduiſent avec lui.

Quoique cette objection, au premier coup d'œil, ait tout l'air d'une mauvaiſe difficulté, & qu'elle n'ait arrêté preſque perſonne de ceux qui

ont fait ou connu cette expérience avant moi, je ne puis cependant dissimuler qu'elle m'a paru forte, surtout lorsque j'ai vû, par des épreuves faites en différens tems, qu'un volume d'air de 2 ou 3 pintes pris au hazard dans l'atmosphére, contenoit toujours assez d'eau pour rendre une once de sel de tartre sensiblement humide & plus pésante ; car si l'on joint au poids de cette eau celui des autres matiéres qui sont infailliblement répandues avec elle dans le même volume d'air, & que le sel de tartre n'a point absorbées, on pourroit être tenté de croire que de toute la pésanteur du fluide mixte, il n'y a rien qui appartienne aux parties propres de l'air.

Cette considération a fait dire à M. Boerhaave * que l'air, de même que le feu, pourroit bien ne péser vers aucun point déterminé de l'Univers : je ne me suis point arrêté à cette conjecture ; & bien loin de céder à la difficulté, je me suis mis en état de la combattre par le procédé que voici.

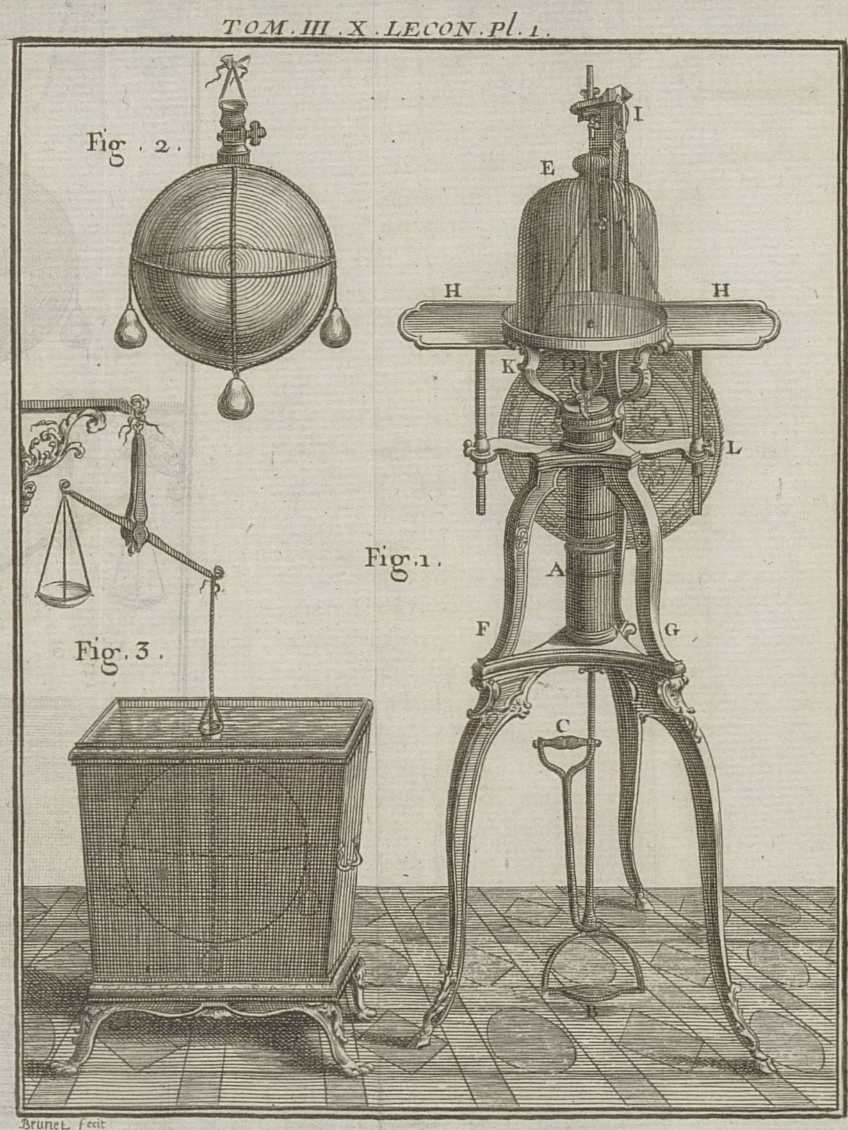
* *Chemia, tom 1. p. 267.*

Je suspens le ballon plein d'air à la

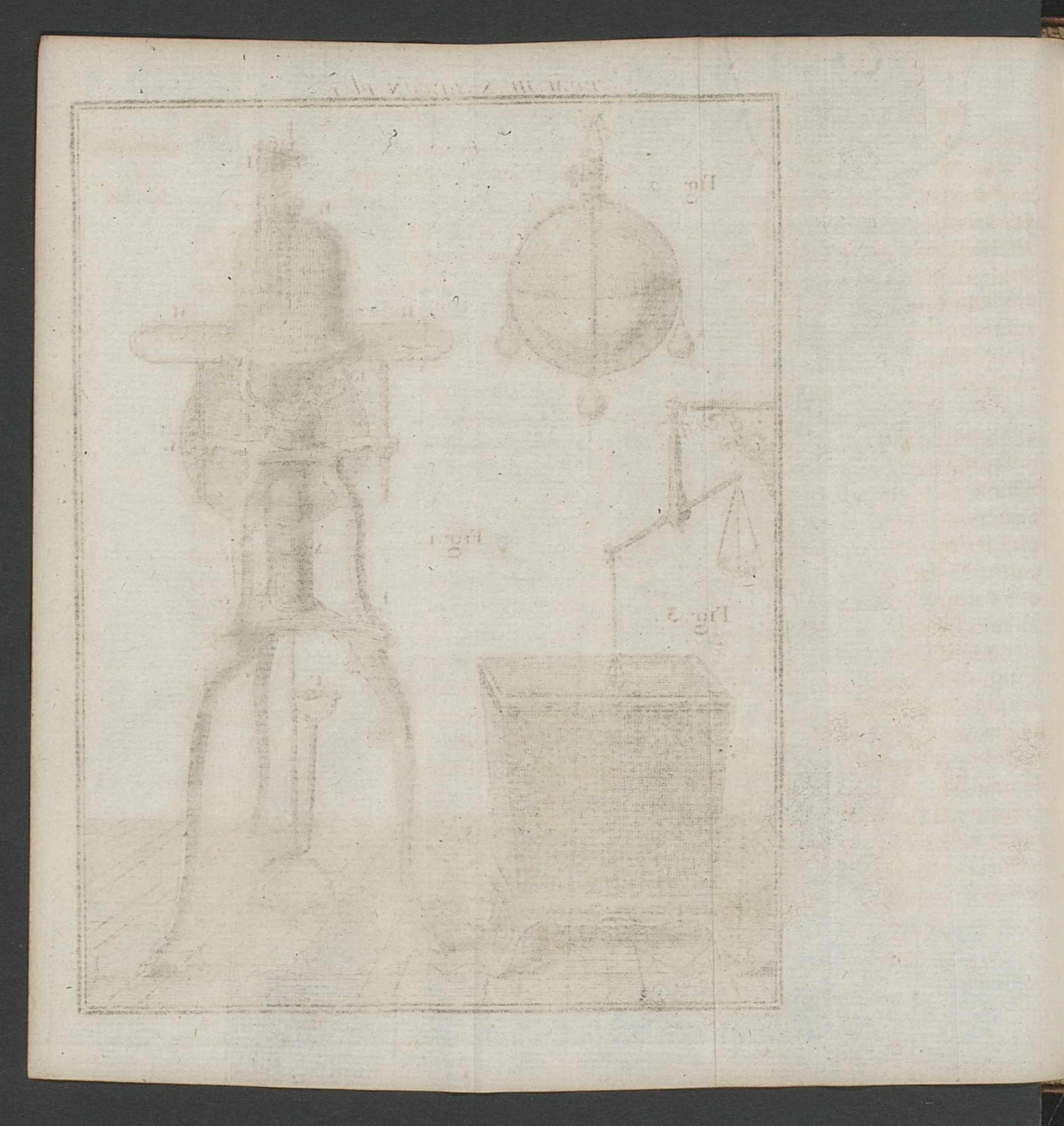
X. LEÇON.

balance, & je le tiens en équilibre dans l'eau avec un poids connu : ensuite, sans le changer de situation, j'applique au robinet un sciphon qui répond à la machine pneumatique pour y faire le vuide ; à mesure que je raréfie l'air, je vois tomber au fond du ballon les vapeurs dont il est chargé, & qui ne sont point de nature à se raréfier comme lui & à le suivre ; de cette maniére je fais rester dans le ballon (au moins pour la plus grande partie) ces corps étrangers à qui l'on pourroit soupçonner qu'il doit tout son poids, & je suis comme certain que ce qui sort du vaisseau est de l'air pur ; cependant lorsque j'ai fermé le robinet, & que j'essaye de remettre le ballon vuide en équilibre avec le premier poids, je le trouve, à peu de choses près, d'autant plus léger qu'il étoit plus pésant dans la premiére expérience ; d'où il suit incontestablement que l'air par lui-même & indépendamment des vapeurs & des exhalaisons avec lesquelles il se trouve mêlé, augmente le poids d'un vaisseau qu'il remplit.

APPLICATIONS.



Brunet fecit



X. LEÇON.

APPLICATIONS.

Par le moyen des expériences que je viens de rapporter, non ſeulement on peut s'aſſurer de la péſanteur abſolue de l'air ; mais on peut connoître auſſi quelle eſt ſa péſanteur ſpécifique, en comparant un volume d'air connu dont on ſçait le poids, avec un pareil volume d'une autre matiére que l'on péſe ſéparément : un exemple rendra ceci plus intelligible.

Après avoir mis mon ballon plein d'air & plongé dans l'eau en équilibre au bras de la balance, ſi je le rends plus léger en pompant la plus grande partie de l'air qu'il contient, le poids que j'ajoute enſuite de ſon côté pour rétablir l'équilibre, eſt juſtement celui de l'air qui en eſt ſorti. Je renverſe auſſi-tôt le ballon dans l'eau, de maniére que l'orifice regarde le fond du vaiſſeau, & j'ouvre le robinet ; alors le poids de l'atmoſphére pouſſe dans le ballon un volume d'eau qui égale celui de l'air qu'on a ôté : je ferme le robinet ; je remets le ballon dans ſa premiére ſituation, & je charge le baſſin de la balance, juſ-

X. LEÇON.

qu'à ce que tout ſoit en équilibre ; le poids que je ſuis obligé d'y mettre, eſt celui du volume d'eau qui eſt entré dans le ballon ; ainſi en comparant les deux poids, je vois le rapport qu'il y a entre deux volumes égaux d'air & d'eau. En procédant ainſi, M. Hauxbée a trouvé que la péſanteur ſpécifique de l'air eſt à celle de l'eau, à-peu-près comme 1 eſt à 885.

Au récit de ces expériences, on croiroit volontiers qu'il n'y a rien de plus facile à faire que cette comparaiſon du poids de l'air à celui d'un autre fluide par le moyen de la balance : cependant on n'en vient à bout qu'avec beaucoup de ſoins ; & quelques précautions que l'on prenne, il reſte toujours de l'incertitude dans le réſultat.

La difficulté vient, 1o. de ce que tous les fluides, & généralement tous les corps ſe dilatent par la chaleur, & ſe condenſent par le froid, de ſorte que l'air & l'eau que l'on compare dans le mois de Juin n'ont pas la même denſité qu'au mois de Janvier : cet inconvénient ne ſeroit pas d'une

ſi grande conſéquence, ſi ces matiéres, en ſe dilatant ou en ſe condenſant, gardoient toujours entr'elles le même rapport; mais il s'en faut bien que cela ſoit, & ce n'eſt point une petite affaire que de bien connoître les variations qu'elles éprouvent ſelon leurs différentes températures.

2°. Comme il n'y a point d'air parfaitement pur, auſſi n'y a-t-il point d'eau qui ne contienne quelque choſe d'étranger; & quoi qu'en diſent quelques Auteurs, il y a bien des eaux, qui au même dégré de chaud & de froid, différent ſenſiblement de péſanteur entr'elles. Or s'il eſt néceſſaire de ſçavoir quelle eau ou quel air on a péſé, pour conclure avec préciſion le rapport de l'une à l'autre, on ne peut donc prononcer en général qu'un à-peu-près.

3°. Les variations du barométre nous apprennent que la preſſion de l'atmoſphére n'eſt pas toujours la même; & nous verrons bien-tôt que l'air change de denſité ſelon qu'il eſt plus ou moins comprimé. Il peut donc arriver que le volume d'air meſuré par la capacité du ballon, ſoit

X. LEÇON.

plus péſant dans un tems que dans un autre ; c'eſt pourquoi M. Hauxbée, dans le récit de ſon expérience, n'a obmis ni la hauteur actuelle du mercure dans le barométre (*a*), ni la ſaiſon dans laquelle il a opéré ; au lieu de citer ſeulement le mois (*b*), il auroit ſans doute déſigné la température par le dégré du thermométre, s'il y en avoit eu alors de comparables comme à préſent.

4°. Pour comparer exactement le poids de l'air avec celui de l'eau, il faut qu'en plongeant l'orifice du ballon où l'on a fait le vuide, il y rentre juſtement autant d'eau qu'il en eſt ſorti d'air, ſans quoi ce ne ſeroit plus comparer enſemble deux volumes égaux. Mais on ſçait que quand une liqueur ſe trouve dans le vuide, l'air qu'elle contient s'en dégage, & s'éléve au-deſſus : c'eſt le cas où ſe trouve l'eau qui commence à monter dans le ballon ; elle blanchit par la quantité des bulles d'air qui s'en échappent ; & cet air occupant la

(*a*) 29 p. $\frac{1}{2}$, meſure d'Angleterre, c'eſt-à-dire, un peu moins que 28 pouces de France.

(*b*) Mai.

partie ſupérieure du vaiſſeau, empêche qu'il ne reçoive autant d'eau qu'il devroit y en entrer, eû égard au vuide qu'on y avoit fait. Il faudroit donc avoir bien purgé d'air l'eau dont on veut ſe ſervir dans cette expérience ; & c'eſt ce qu'il ne paroît pas qu'on ait fait juſqu'à préſent : d'où il ſuit que l'on a conclu la péſanteur ſpécifique de l'air un peu plus grande qu'elle n'eſt en effet.

On ne doit donc pas être ſurpris de trouver ſi peu d'accord entre les Auteurs qui ont tenté ces ſortes d'expériences, ſur-tout dans des tems où les procédés étoient d'autant plus difficiles, qu'on étoit moins inſtruit des faits, & qu'on n'avoit pas les moyens dont on peut s'aider maintenant. Galilée établit le rapport de l'air à l'eau comme 1 à 400 ; le Pere Merſene comme 1 à 1346 : quelle différence ! de tous les Phyſiciens qui ont cherché depuis à réſoudre cette queſtion, perſonne n'a trouvé l'air auſſi péſant qu'il le ſeroit ſuivant le premier de ces réſultats, ni auſſi léger qu'il paroît l'être par le dernier (*a*) :

(*a*) Boyle, dans ſes Expér. Phyſicomech.

X. LEÇON.

& si l'on prend un milieu entr'eux, il paroît assez constant que l'eau de pluie est environ 900 fois plus pésante que l'air, l'un & l'autre étant pris dans une température moyenne, comme de 12 degrés au-dessus du terme de la glace, le barométre étant à 28 pouces.

Comme les volumes sont en raison réciproque des pésanteurs spécifiques, il faudroit donc un volume d'air d'une densité uniforme & égal à 900 pieds cubes, pour faire équilibre à un pied cube d'eau qui pése environ 70 livres; d'où il suit que la pésanteur absolue d'un pied cube d'air, est à peu près une once & deux gros (*a*).

La pésanteur de l'air étant une fois connue, on ne doit plus être surpris de sentir la main s'attacher sur un pe-

conclut que l'eau commune est 938 fois plus pésante que l'air; & dans d'autres endroits, il varie sur cette estimation. M. Homberg, comme il paroît par l'hist. de l'Acad. des Sciences, après avoir aussi changé plusieurs fois d'avis, a donné le rapport de l'air à l'eau, comme 1 à 1087; M. Halley, comme 1 à 860; M. Hauxbée comme 1 à 885; M. Muschenbrock comme 1 à 681.

(*a*) Wolf. Elem. Aërom. p. 741. dit qu'un pied cube d'air pése une once 27 grains.

tit récipient ouvert par le haut, lorſqu'on y fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique : car tant que le vaſe eſt plein d'un air auſſi denſe que celui de l'atmoſphére, la main ſe trouve appuyée non-ſeulement ſur les bords, mais encore ſur la maſſe du fluide qui eſt renfermé, & qui réſiſte à la preſſion extérieure ; mais quand on a fait le vuide, la main, toujours preſſée par l'air du dehors, ne ſe trouve plus ſoutenue que par les bords du récipient ; & pour l'en ſéparer, il faudroit faire de bas en haut un effort capable de ſoulever la colonne d'air qui péſe deſſus. Or le poids de cette colonne égale celui d'un cylindre de mercure qui auroit pour baſe le plan qui eſt terminé par les bords du récipient, & 27 à 28 pouces de hauteur, comme on l'a vû par la fameuſe expérience de Toricelli*.

* 7. Leçon, p. 295.

Il ſuit de-là que cette preſſion eſt d'autant plus grande & plus ſenſible, que le récipient a plus d'ouverture par en haut ; c'eſt pourquoi la main y tient bien davantage que le bout du doigt, lorſqu'on le poſe ſur le trou même qui eſt au centre de la platine;

X. LEÇON.

& par la même raiſon, une clef forée que l'on ſuce, & qui s'attache enſuite à la langue ou à la lévre, s'en détache d'autant plus difficilement que le canal eſt plus gros.

Quand on fait ainſi le vuide ſous la main, ou ſous quelqu'autre partie du corps, on doit avoir ſoin que les bords du récipient ne ſoient pas trop aigus ; car ils pourroient bien entamer la peau : on peut en faire l'épreuve avec la moitié d'une pomme ou avec une tranche de navet ; au premier coup de piſton, *il* arrive preſque toujours qu'il s'en détache un cercle qui entre dans le vaſe avec impétuoſité & avec bruit.

Cette adhérence que l'on peut faire naître par la preſſion de l'air extérieur, pourroit être employée fort utilement dans la Chirurgie : je ne parle point de la ventouſe qui eſt ſi connue, & dont l'uſage eſt maintenant aſſez négligé en France ; mais n'y auroit-il pas des occaſions où l'on auroit beſoin de ſaiſir, pour un peu de tems, une partie délicate, qui, par ſa figure, par ſon volume, ou par ſa moleſſe, ne donne point de priſe aux tenetes &

autres inſtrumens ? une petite pompe dont l'orifice formé en pavillon, pourroit être de telles dimenſions, & garni de telle maniére qu'on le jugeroit à propos pour l'opération, deviendroit un moyen sûr & avantageux entre les mains d'un homme intelligent ; c'eſt aux gens de l'art à juger de l'application qu'on en pourroit faire.

Il ſemble d'abord que cette preſſion extérieure de l'air, qui vient de ſon poids, devroit écraſer les cloches de verre, dont on couvre la platine de la machine pneumatique pour faire le vuide ; mais pour peu qu'on y faſſe attention, on verra que ces vaiſſeaux, étant toujours uniformément arrondis en forme de cylindre ou de voûte, ſont à l'abri de cet accident : comme la ſurface extérieure eſt néceſſairement plus grande que celle du dedans, toutes les parties qui compoſent l'épaiſſeur, reſſemblent à celles dont on fait les cintres, ce ſont autant de coins ou de pyramides tronquées, qui ſe ſoutiennent mutuellement, à meſure qu'elles ſont preſſées vers un axe ou un centre com-

X. LEÇON.

mun, par l'action d'un fluide qui pése en tout sens. On peut voir par la *Fig.* 4. l'épaisseur d'un récipient coupé selon son axe, & par la *Fig.* 5. le même vaisseau coupé parallélement à sa base.

Ce qui prouve bien que la forme arrondie défend les vaisseaux contre le poids de l'air, lorsqu'ils en sont vuides, c'est qu'ils se cassent infailliblement, quand ils ont une autre figure. Que l'on applique à la machine pneumatique celui qui est représenté par la *Fig.* 6. il est ouvert de part & d'autre, comme le petit récipient sur lequel on applique la main : mais au lieu de le boucher ainsi, on étend & on lie dessus un morceau de vessie mouillée qui lui sert de fond, & qu'on laisse sécher ; à mesure qu'on fait agir la pompe dessous pour le vuider, le poids de l'air extérieur fait prendre à cette vessie tendue la forme d'une calotte renversée, & enfin elle créve avec éclat. Un morceau de verre de vitre, ou de glace de miroir, que l'on poseroit en la place de cette vessie, se briseroit de même, s'il étoit exactement appliqué sur les bords du vaisseau, par le moyen d'un cuir inter-

posé, ou autrement. Les bouteilles de verre mince qui sont fort applaties, & ordinairement couvertes d'osier, crevent assez souvent, quand on les porte à la bouche à demi-pleines de liqueur, pour boire à même; car la succion raréfie l'air intérieur, & le poids de l'atmosphére agissant sur les deux côtés plats, les porte l'un vers l'autre, & brise le vaisseau.

Ces sortes d'épreuves, & surtout celle de la vessie, causent toujours quelque étonnement aux personnes qui les voyent pour la premiére fois, par le grand bruit qui les accompagne. Cet effet vient de ce que l'air entre avec une grande vîtesse (*a*) & tout à la fois en grand volume, dans un vaisseau vuide dont il frappe les parois : car le bruit vient primitivement du choc des corps, comme nous le ferons voir par la suite; & les fluides sont très-capables de heurter les solides.

On remarque quelque chose de

(*a*) Selon M. Papin, l'air de l'atmosphére en rentrant dans le vuide, va avec une vîtesse qui lui feroit parcourir 1305 pieds dans une seconde. *Abrég. de Lowtorps, Tome* 1. *page* 586.

X. Leçon.

ſemblable, lorſqu'on tire bruſquement le couvercle d'un étui à curedents, d'une écritoire de poche, ou le piſton hors d'une ſéringue qui eſt bouchée par l'autre bout; c'eſt qu'alors on fait une ſorte de vuide que l'air du dehors ſe hâte de remplir, dès que l'accès lui eſt libre: car pendant qu'on ouvre l'étui, la capacité *AB*, *Fig.* 7. s'augmente de la quantité *BC*, & l'air intérieur en devient d'autant plus rare; puiſqu'au lieu d'être contenu entre *AB*, comme il l'étoit dans ſon état naturel, il s'étend juſques en *C*: mais ceci s'entendra encore mieux, quand nous aurons expliqué de quelle maniére l'air ſe raréfie, lorſqu'on fait uſage de la machine pneumatique.

La denſité de l'air, d'où dépend ſa péſanteur ſpécifique, n'eſt point conſtante, elle varie beaucoup, non ſeulement par le froid & par le chaud, comme il arrive à toutes les autres matiéres, mais auſſi par une compreſſion plus ou moins grande, à la maniére des corps à reſſort. Je dis à la maniére des corps à reſſort, parce que pendant tout le tems que l'air eſt

comprimé, il conſerve conſtamment la faculté de s'étendre & d'occuper un plus grand eſpace, auſſi-tôt que l'on fait ceſſer les cauſes qui reſſerrent ſon volume, comme le crin, la laine, le duvet de plume, &c. avec cette différence cependant, que toutes ces matiéres perdent leur élaſticité en tout ou en partie, quand elles ſont trop fortement ou trop longtems comprimées, au lieu que l'air ſe rétablit toujours parfaitement ; au moins peut-on dire qu'il n'y a juſqu'à préſent aucun fait connu qui prouve le contraire (*a*).

L'air ſe comprime lui-même par ſon propre poids, de ſorte que celui que nous reſpirons dans la plaine, eſt plus denſe que celui qu'on trouve ſur une montagne ; parce que celui-ci eſt chargé d'une colonne moins longue que celui-là.

Mais de quelque maniére que l'air ſoit comprimé, ſon reſſort fait tou-

(*a*) M. de Roberval a gardé pendant 15 ans de l'air comprimé dans une canne à vent ; & après cet eſpace de tems, l'air a montré autant de force qu'il a coutume d'en avoir en pareil cas.

X. LEÇON.

jours équilibre à la puiſſance qui reſtraint ſon volume, de maniére que ſi ſa réaction devient libre, il pourra faire, en qualité de fluide élaſtique, tout ce qu'auroit pû faire la force qu'on a employée pour le comprimer : les expériences ſuivantes ſerviront d'éclairciſſement & de preuves à ces propoſitions.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

EFG, *Fig.* 8. eſt un tuyau de verre recourbé en forme de ſciphon, dont la plus longue branche a environ 8 pieds de longueur, & la plus courte 12 pouces, à compter de *d* en *G* : ce tuyau peut avoir intérieurement 3 ou 4 lignes de diamétre, & la partie *d G* doit être parfaitement cylindrique ; il eſt ouvert en *E*, & fermé en *G* ; & il eſt attaché ſolidement ſur une planche aſſez épaiſſe pour ne point plier facilement, & diviſée en pouces de *d* en *E*, & de *d* en *G*. Cet inſtrument étant debout, on y fait couler un peu de mercure, de maniére que le coude en ſoit rempli :

on continue enſuite de verſer du mercure dans la branche la plus longue ; & à meſure qu'elle s'emplit, on obſerve, par les graduations qui ſont marquées de part & d'autre, quels rapports gardent entr'elles les élévations du mercure dans les deux branches.

X. LEÇON.

EFFETS.

Lorſque le mercure eſt élevé de 4 pouces au-deſſus du point *d* dans la plus courte branche ; à compter du niveau de cette élévation, il s'en trouve 14 pouces dans la plus longue.

En continuant de verſer du mercure, on remarque que 6 pouces d'élévation vers *G*, répondent à 28 pouces de l'autre part ; & 9 pouces à 84.

EXPLICATIONS.

Avant que de faire couler du mercure dans l'inſtrument, toute ſa capacité eſt remplie d'un air qui eſt comprimé par le poids même de l'atmoſphére : en mettant du mercure dans le coude *d*, on diviſe cet air en deux colonnes, dont une *E d*, ſouf-

X. LEÇON.

fre toujours la même compreſſion de la part de l'air extérieur, avec qui elle communique : & l'autre *dG* doit être conſidérée comme un reſſort précédemment tendu par le poids de l'atmoſphére ; tant que le mercure eſt en équilibre avec lui-même dans la ligne *dh*, cette petite colonne d'air faiſant auſſi équilibre par ſon reſſort à l'autre, qui péſe en *d*, ſon volume ne doit ni augmenter ni diminuer ; mais lorſqu'on ajoûte du mercure dans la plus longue branche, il ne s'éléve pas également dans la plus courte, parce que l'air qui s'y trouve renfermé, lui fait obſtacle. Cette oppoſition cependant n'empêche pas qu'il ne ſoit reſtraint dans un plus petit eſpace, parce qu'alors il eſt preſſé, non-ſeulement par le poids de l'atmoſphére, comme auparavant, mais encore par une colonne de mercure, dont la hauteur ne doit ſe compter que du niveau de ſon élévation dans la plus courte branche, puiſque ce qu'il y en a au-deſſous de cette ligne eſt égal de part & d'autre.

On doit ſe ſouvenir qu'en parlant du barométre *, nous avons obſer-

* Tome II. VII. Leçon, p. 295. & ſuiv.

vé

vé qu'une colonne de mercure d'environ 28 pouces de hauteur, pése autant qu'une colonne d'air de même base, & de la hauteur de l'atmosphére : 14 pouces de mercure ajoûtés au poids de l'air extérieur augmentent donc d'un tiers la pression qu'il exerce contre celui qui est entre *G d*; voilà pourquoi le volume de cette portion d'air se condense, & que ce cylindre, au lieu de demeurer long d'un pied, diminue de 4 pouces, qui sont le tiers de sa premiére longueur.

Par la même raison, lorsque la colonne de mercure est de 28 pouces au-dessus de son niveau, le poids de l'atmosphére est doublé, & l'air qui soutient cette double compression, ne forme plus qu'un cylindre de six pouces de hauteur; c'est-à-dire, que son volume diminue de moitié.

Enfin 84 pouces de mercure font trois colonnes l'une sur l'autre de 28 pouces chacune, dont la somme égale trois fois le poids de l'atmosphére, & qui doivent par conséquent faire perdre les trois quarts de son volume à la colonne d'air *d G* qu'elles com-

X. LEÇON.

primiment ; ainſi cette colonne de 12 pouces ſe réduit à trois.

Cette expérience que l'on doit à Boyle * & à M. Mariotte ** , prouve fort bien , comme on voit , que l'air comprimé diminue de volume comme la preſſion augmente : & puiſque la denſité d'une matiére croît à meſure que ſes parties ſe rapprochent & qu'elles occupent enſemble un moindre eſpace , on peut dire que l'air ſe condenſe, en raiſon directe des poids dont il eſt chargé. Cependant il eſt aſſez raiſonnable * de croire que cette proportion n'a pas lieu dans les degrés extrêmes , ou bien il faudroit ſuppoſer gratuitement , que l'air eût à cet égard un privilége excluſif ; car nous ne connoiſſons aucun corps élaſtique qui puiſſe être comprimé à l'infini, & toujours proportionnellement aux puiſſances dont il éprouve l'action. D'ailleurs comme l'air n'eſt jamais pur , & que les matiéres dont il eſt chargé, ne ſont pas compreſſibles comme lui, on doit croire , qu'après une compreſſion très-grande, ſes parties ceſſeroient d'être flexibles , parce qu'elles ſeroient appuyées ſur des

* *Contra Linum*, p. 42.

** *Oeuvres de M. Mariotte*, in-4. Tom. I. p. 153.

* *Hiſt. de l'Acad.* 1702. p. 2.

corps étrangers, dont la nature est de ne céder à aucune force connue. X. LEÇON.

POUR faire avec exactitude l'expérience que je viens de rapporter, il faut 1°. Que les deux branches de l'instrument soient paralléles entr'elles, & les tenir dans une situation bien verticale pendant qu'on observe les élévations du mercure ; car comme les liquides pésent en raison de leur hauteur perpendiculaire à l'horison, si ces branches étoient panchées, la pression ne seroit pas comme la longueur des colonnes qu'elles renferment. 2°. Il faut prendre garde d'échauffer ou de refroidir le volume d'air contenu dans la branche *d G*; car il changeroit de dimensions, indépendamment de la pression qu'il souffre de la part du mercure, & de l'air extérieur. 3°. On doit avoir soin que la branche courte soit intérieurement bien cylindrique; car autrement des parties égales mesurées sur sa longueur, ne donneroient pas des capacités semblables, & l'on ne pourroit pas conclure avec justesse, le degré de condensation de l'air par le raccourcissement de la colonne, qu'il

X. LEÇON.

représente à mesure que la compression augmente.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

II, *Fig*. 2. représente un seau rempli d'eau, dont on observe la température par le moyen d'un thermométre qu'on y plonge; on assujettit dans ce premier vaisseau, avec un poids ou autrement, une bouteille dont l'orifice *L L* est fort large : on prépare ensuite un bouchon de liége que l'on perce au milieu pour recevoir le tube du barométre *KM*, & l'on place l'un & l'autre de façon que la partie inférieure du barométre soit dans la bouteille; après quoi l'on verse sur le bouchon de la cire fondue & mêlée de térébenthine, pour empêcher qu'il n'y ait aucune communication entre l'air du dedans & celui du dehors; mais de peur que la chaleur de la cire n'échauffe l'air intérieur, & n'en change la densité, il faut pratiquer au travers du bouchon & de son enduit, un petit canal que l'on ne ferme que quand tout est bien refroidi : alors

on marque avec un index à quelle hauteur le mercure se tient dans le barométre. X. LEÇON.

EFFETS.

Non seulement le mercure ne hausse ni ne baisse au moment qu'il est renfermé : mais quoique par la suite il fasse appercevoir ces sortes de variations suivant la température du lieu où il est ; toutes les fois qu'on le rappelle au degré de chaud ou de froid qu'il avoit dans le vaisseau *II*, où s'est faite la préparation , le mercure se remet à la hauteur indiquée par l'index : & cet effet est toujours le même après plusieurs années.

EXPLICATIONS.

Un instant avant qu'on ferme la bouteille, l'air qu'elle contient communiquant avec celui du dehors, fait encore partie de l'atmosphére , en soutient la pression , & la transmet en s'appuyant contre les parois intérieures du vaisseau, & contre tout ce qui s'y trouve renfermé ; cet air agit alors comme pésant sur le réservoir du barométre, & soutient le mercure à 28

X. LEÇON.

pouces. Auſſi-tôt que la bouteille eſt bouchée, cette même maſſe d'air n'a plus que ſon propre poids, qui eſt bien peu de choſe en comparaiſon de celui de l'atmoſphére, à qui elle étoit jointe précédemment : mais elle reſte comprimée ſelon toute la force de ce poids dont elle n'eſt plus chargée, & ſa réaction eſt égale à cette force ; c'eſt pourquoi elle ſoutient, en qualité de corps à reſſort, les 28 pouces de mercure qu'elle portoit, lorſqu'elle péſoit avec l'air extérieur.

Il ſuit de cette épreuve que non-ſeulement le reſſort de l'air eſt égal à la force qui l'a comprimé ; mais on voit auſſi que cette élaſticité ne s'affoiblit pas, comme celle des autres corps, par ſucceſſion de tems, puiſque le mercure ſe ſoutient, ou revient toujours au même degré d'élévation, quoique pendant pluſieurs années on tienne la même maſſe d'air en expérience.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 10. repréſente deux hémi-

ſphéres concaves de cuivre, & de 6 pouces de diamétre, dont l'un eſt garni d'un robinet, par lequel il peut s'ajuſter à la machine pneumatique : & l'autre porte un anneau au milieu de ſa convexité, pour être facilement ſuſpendu. Ces deux calottes ſe joignent en forme de globe ; & pour rendre la jonction plus facile & plus exacte, l'une des deux a ſes bords garnis d'un anneau plat dont la largeur excéde autant en dedans qu'en dehors ; on le couvre d'un cuir mouillé ſur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémiſphére, qu'on a eu ſoin de bien dreſſer.

Tout étant ainſi diſpoſé, on fait le vuide dans cette boule creuſe, & l'on ferme le robinet pour la tenir en cet état ; lorſqu'elle eſt détachée de la machine pneumatique, on joint au robinet un crochet de métal capable de porter un poids de 60 livres, & l'on attache l'anneau à quelque point fixe.

EFFETS.

Quand ces deux hémiſphéres ainſi joints ſont ſuſpendus, comme on le

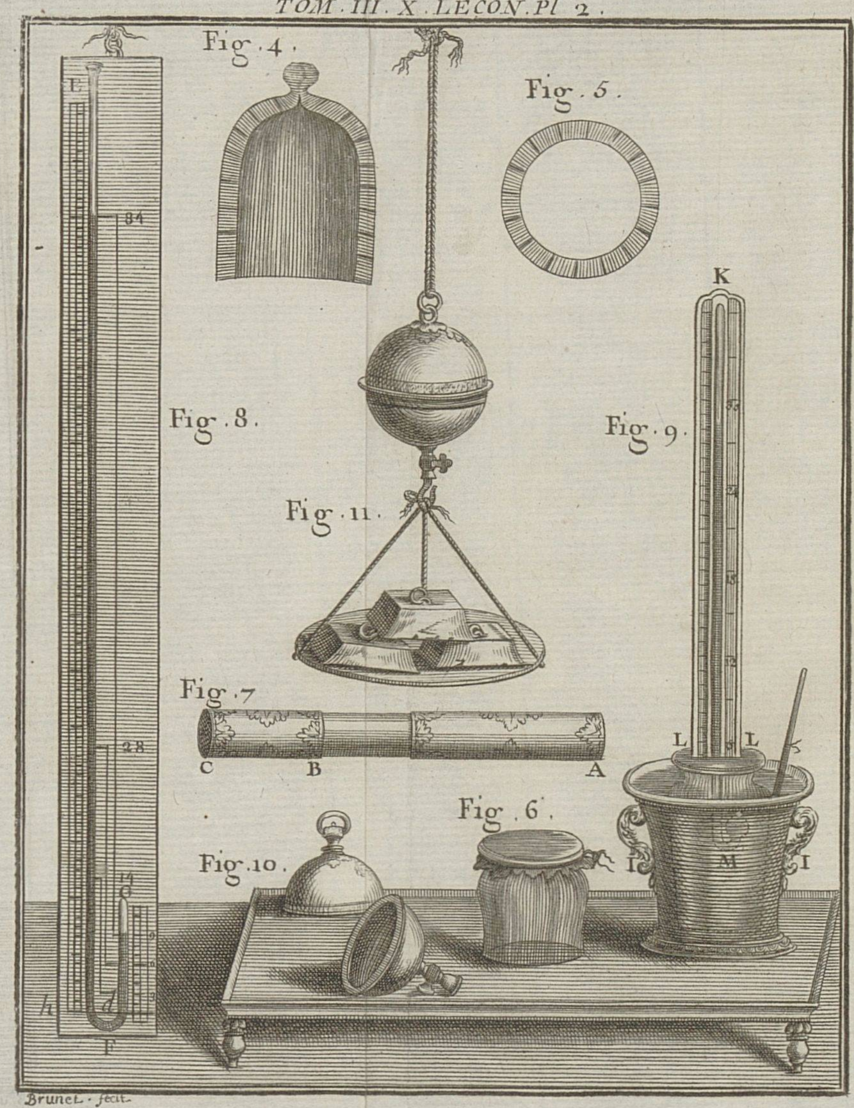
X. LEÇON.

peut voir par la *Fig.* 11. le poids de 60 livres qu'on y attache, n'eſt pas capable de les ſéparer l'un de l'autre; & quand on ouvre le robinet pour laiſſer rentrer l'air, la moindre force les déſunit.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Quand les deux hémiſphéres ſont attachés enſemble par l'évacuation de l'air, au lieu de les ôter de la machine pneumatique, il faut ſeulement déviſſer deux ou trois tours, le robinet par lequel ils ſont appliqués à la pompe, afin qu'on puiſſe faire le vuide dans un récipient dont on les couvrira. Ce vaiſſeau doit être ouvert par le haut, & garni d'une boëte de cuivre remplie de cuirs gras preſſés les uns ſur les autres, à travers deſquels on fait paſſer une tige de métal bien arrondie & bien cylindrique. Cette tige porte d'un côté un anneau par lequel on peut la faire mouvoir de bas en haut & en tournant ; & à ſon autre bout on ajuſte un crochet qui s'engage dans l'anneau de la calotte ſupérieure,


Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 11.
Fig. 7
Fig. 6.
Fig. 10.
E
34
28
14
G
h
d
F
K
L
L
M
I
I
C
B
A
Brunet. fecit.

supérieure, comme il est représenté par la *Fig.* 12. X. LEÇON.

Par le moyen de cette boëte à cuirs, lorsqu'elle est bien faite, on peut transmettre toutes sortes de mouvemens dans le vuide, sans que les différens mouvemens de la tige fassent rentrer l'air, au moins d'une quantité sensible. Il est inutile de dire, qu'au lieu du crochet dont on se sert dans cette expérience, on peut ajuster au bout de la tige tout autre instrument dont on aura besoin selon les circonstances.

EFFETS.

Quand on a rarefié l'air du récipient à un certain dégré, & que l'on tire la tige de la boëte à cuirs de bas en haut, les deux hémisphéres se séparent sans peine; & si l'on remet en place celui qu'on a soulevé, en faisant rentrer l'air dans le récipient, on les attache aussi fortement qu'ils l'étoient avant qu'on les plaçât dans le vuide.

EXPLICATIONS.

Les deux hémisphéres ne s'atta-

X. LEÇON.

chent point enſemble tant que l'air qui s'y trouve renfermé demeure dans ſon état naturel, c'eſt-à-dire, auſſi denſe que celui du dehors, parce que l'effort qu'il fait pour s'étendre, & pour écarter ces deux calottes qui lui font obſtacle, eſt préciſément égal à celui de l'atmoſphére qui les preſſe extérieurement ; chacune d'elles ſe trouve en équilibre entre deux puiſſances de même valeur.

Mais quand cet air intérieur ſe trouve rarefié par l'action de la pompe, la force de ſon reſſort en eſt d'autant affoiblie ; l'équilibre eſt rompu, & l'adhérence des deux hémiſphéres eſt proportionnelle à la différence qu'il y a entre la denſité de l'air qui preſſe extérieurement, & celle de l'air qui réſiſte en dedans ; de ſorte que ſi celui-ci pouvoit être réduit à zéro, il faudroit employer, pour ſéparer ces deux piéces, un effort un peu plus grand que le poids d'une colonne entiére de l'atmoſphére, dont la baſe auroit ſix pouces de diamétre, ce qui feroit plus de 400 livres ; en ſuppoſant ſeulement, ſelon l'évaluation commune, qu'une colonne de l'at-

mosphére fait une pression de 10 ou 11 livres sur un espace circulaire d'un pouce de diamétre.

Lorsqu'on a placé la boule vuide sous un récipient qui lui ôte toute communication avec l'atmosphére, ce n'est plus, à la verité, le poids de cet atmosphére, qui retient les deux hémisphéres l'un contre l'autre ; mais c'est la réaction d'une masse d'air comprimé précédemment par ce poids, & qui est capable des mêmes effets : c'est pourquoi ces deux piéces ne se séparent facilement, que quand on a détendu le ressort de l'air environnant, en diminuant sa densité par plusieurs coups de piston, jusqu'à ce qu'il soit autant rarefié que celui qui reste dans la boule.

Si l'air, en rentrant dans le récipient, trouve les deux hémisphéres rejoints de maniére qu'il ne puisse pas s'y introduire & s'y étendre comme dans le reste du vaisseau, il les presse de nouveau l'un contre l'autre, par la même raison qu'ils avoient été d'abord attachés, & avec autant de force, s'il y a la même différence entre les deux airs, celui du dehors & celui du dedans.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

C'eſt en conſéquence des principes dont on vient de voir les preuves, que le vuide ſe fait dans un vaiſſeau, par le moyen de la machine pneumatique : car en abbaiſſant le piſton d'un bout à l'autre de la pompe, on fait naître un eſpace ſans air, dans lequel celui du récipient ne manque pas de s'étendre en vertu de ſon élaſticité ; mais une maſſe d'air qui ſe partage ainſi à deux eſpaces, devient néceſſairement plus rare dans chacun des deux ; c'eſt pourquoi le poids de l'atmoſphére produit en même tems les deux effets ſuivans : 1o. il attache le récipient à la platine, comme on a vû qu'il fait tenir enſemble les deux hémiſphéres de métal : 2o. ſi l'air extérieur ne peut pas rentrer par le haut de la pompe, ce même poids de l'atmoſphére remonte le piſton en partie, c'eſt-à-dire, juſqu'à ce que l'air qui eſt dans la pompe ſoit auſſi denſe que celui de dehors.

Ce dernier effet mérite attention : bien des gens ſe dégoûtent de la machine pneumatique ſimple, par la

difficulté qu'ils trouvent à remonter le piston : on s'épargne une grande partie de cette peine quand on fait la clef du robinet de façon que l'air puisse bien passer du dedans au dehors de la pompe, mais non pas réciproquement : car avec cette précaution *, le piston se reléve comme de lui-même ; & il reste peu de chose à faire, surtout lorsqu'on approche des derniers degrés de raréfaction.

* *Voyez les Mém. de l'Acad. pour l'année* 1740. p. 413.

Quant à l'adhérence du récipient à la platine, elle augmente à mesure que l'air se raréfie ; & cette raréfaction, à chaque coup de piston, suit le rapport des capacités. Si par exemple celle de la pompe est égale à celle du récipient, au premier coup, la densité de l'air diminue de moitié, parce que son volume devient double, puisqu'il remplit deux espaces semblables à celui qu'il occupoit d'abord : au second coup, il se raréfie encore dans la même proportion, & par conséquent sa densité est réduite au quart, & ainsi de suite ; d'où il paroît qu'une machine pneumatique, quelque parfaite qu'elle puisse être,

X. LEÇON.

ne peut jamais évacuer parfaitement l'air du récipient, puiſque la denſité de cet air diminue toujours en proportion géométrique. En un mot, pour ne point ſe faire une idée fauſſe du vuide qui ſe fait ainſi, on doit conſidérer le récipient comme étant toujours plein, mais d'un fluide dont la denſité diminue de plus en plus, juſqu'à ce que le reſſort de ſes parties ſoit autant détendu qu'il peut l'être, dans un eſpace où il eſt peu gêné : je dis peu gêné, pour ne pas dire abſolument qu'il ne l'eſt plus ; car il paroît qu'il l'eſt encore, quand on a épuiſé tous les efforts de la meilleure machine pneumatique, comme on le verra par ce qui va ſuivre.

Que la raréfaction de l'air, dans le récipient, ſoit proportionnelle au rapport qu'il y a entre la capacité de ce vaiſſeau & celle de la pompe; c'eſt un fait dont il eſt facile de s'aſſurer par l'expérience. Que l'on adapte un barométre à un récipient, dont la capacité ſoit à celle de la pompe, par exemple, comme 2 à 1, & qu'on l'applique à la machine pneumatique de la maniére qu'on le voit par *la*

X. LEÇON.

Fig. 13. au premier coup de piſton, la denſité de l'air ſera diminuée d'un tiers; auſſi le mercure deſcendra d'un tiers de ſa hauteur; en partant de 27 pouces, il ſera donc à 18 : au ſecond coup, l'air ſera d'un tiers encore plus rare qu'il n'étoit après le premier coup; & le mercure deſcendra auſſi du tiers de 18 pouces, c'eſt-à-dire, à 12, & toujours ainſi de la troiſiéme partie du dernier reſtant.

Ce fait étant bien conſtaté, on pourra donc trouver tout d'un coup le rapport des capacités entre un récipient quelconque, & la pompe à laquelle on l'applique; & ſi l'on connoît la grandeur abſolue de l'une des deux, cette comparaiſon fera connoître l'autre : car 1ment, ſi le mercure deſcend au premier coup de piſton du quart de ſa hauteur, on peut conclure en toute ſûreté, que la capacité du récipient eſt à celle de la pompe, comme 3 eſt à 1; & 2o. ſi l'on ſçait d'ailleurs que la pompe tient une pinte, on ſçaura de cette maniére que le récipient en tient trois : cette façon de jauger les vaiſſeaux, pourroit trouver des applications utiles.

X. LEÇON.

On peut aussi, par ce moyen, estimer les degrés de raréfaction de l'air ; & il y a long-tems qu'on applique pour cet effet le barométre à la machine pneumatique : mais comme d'ordinaire on n'a besoin de connoître au juste l'état de l'air, que quand il approche des derniers degrés de raréfaction, on peut alors se dispenser d'employer un barométre entier, qui seroit trop casuel & toujours fort embarrassant ; puisque dans un air très-raréfié le mercure ne garde que quelques pouces ou quelques lignes de hauteur, on peut regarder le reste du tuyau qui demeure vuide au-dessus comme inutile, & le supprimer : par ce moyen on a un barométre tronqué qui n'est autre chose qu'un petit scyphon renversé, dont la plus longue branche que l'on emplit de mercure, est scellée hermétiquement par le haut, & que l'on attache debout sur un petit pied de plomb avec une régle de bois mince & graduée en pouces & en lignes. *Voyez la Fig.* 14.

Mais soit qu'on se serve de cette espéce de jauge, soit qu'on employe

le barométre entier, on ne voit jamais descendre le mercure parfaitement à son niveau; il demeure toujours élevé un peu au-dessus, s'il n'y a point d'ailleurs quelques causes étrangéres *. On ne doit pas s'en prendre au poids de l'air qui reste dans le récipient : la colonne qui répond à celle du mercure est trop courte, & sa densité est trop diminuée pour avoir une pésanteur sensible; mais il est naturel de penser que quand l'air est extrêmement raréfié, son ressort, quoique suffisant encore pour soutenir une ligne de mercure, est déja trop affoibli pour forcer les frottemens & les vapeurs grasses qui s'opposent à son passage dans le canal étroit du robinet. C'est une petite imperfection dont les machines pneumatiques les mieux faites ne sont point exemptes; mais ce défaut ne tire point à conséquence; & quand elles n'ont que celui-là, on peut toujours réduire la densité de l'air à $\frac{1}{300}$ de celle qu'il a quand le barométre marque 28 pouces; car une bonne pompe abbaisse le mercure à-peu-près à une ligne de son niveau, & 8 pouces donnent 336 lignes.

* *Voyez les Mém. de l'Acad. des Sciences, pour l'année 1741. page 345.*

X. LEÇON.

Si l'on entend bien de quelle maniére l'air agit, ſoit par ſon poids, ſoit par ſon reſſort, on expliquera facilement une infinité de faits curieux, que l'uſage des machines pneumatiques, & la facilité que l'on a acquiſe de faire le vuide, ont donné occaſion de connoître.

Une veſſie dans laquelle on enferme un peu d'air, & que l'on tient dans le vuide, ne manque pas de s'enfler, parce que ce peu d'air qu'elle contient, ſe raréfie lui-même, à meſure que celui qui l'environne perd de ſa denſité: & en pareil cas un plomb qui péſeroit 12 ou 15 livres ne l'empêcheroit pas de s'enfler, parce qu'il ne ſeroit point équivalent à la preſſion de l'air qu'on fait ceſſer d'agir autour d'elle dans le récipient.

Par la même raiſon, une bouteille de verre mince & pleine d'air que l'on a bien bouchée, créve dans le vuide, parce que rien ne fait plus équilibre au reſſort de l'air qu'elle contient, & qui fait un effort continuel pour ſe déployer.

Un œuf placé dans un gobelet ſe vuide par un fort petit trou que l'on

fait en sa partie inférieure, quand on raréfie l'air qui l'environne ; il se remplit aussi par le même trou quand on laisse rentrer l'air dans le récipient : c'est qu'un oeuf, surtout s'il est vieux, contient de l'air qui surnage dans l'endroit le plus élevé de la coque, à cause de sa légéreté : cet air s'étend & chasse devant lui la matiére propre de l'œuf, à mesure qu'on diminue la pression de l'air extérieur avec lequel il étoit d'abord en équilibre ; dès qu'on rend l'air dans le récipient, sa pression fait rentrer tout ce qui est sorti de la coque, & resserre l'air intérieur dans le premier espace qu'il occupoit.

X. LEÇON.

Cette explication devient sensible, si dans une phiole pleine d'eau dont on plonge l'orifice dans un vase, on laisse une bulle d'air qui ne manque pas d'occuper la partie supérieure, & qu'on fasse passer le tout dans le vuide. *Voyez la Fig. 15.* Car à mesure qu'on raréfie l'air du récipient, on voit que la bulle s'étend de plus en plus (*a*), & qu'elle précipite l'eau

(*a*) Par une pareille expérience, M. Mariotte conclut que l'air, en partant de l'etat

X. LEÇON.

qui eſt renfermée avec elle ; après quoi ſi l'air vient à rentrer dans le récipient, la liqueur remonte, & l'air reprend ſon premier volume au-deſſus d'elle.

Une vieille pomme ſe déride dans le vuide, parce que l'air qui eſt ſous la peau s'étend & la ſouléve ; mais elle devient plus ridée qu'auparavant, quand elle ſort du vuide, parce que l'air qu'elle contenoit en ſe mettant au large, en eſt ſorti en partie, & qu'il en reſte d'autant moins, pour réſiſter à la preſſion de l'air extérieur, ce qui fait augmenter les plis de la peau.

Il feroit ſuperflu de rapporter ici toutes les expériences de cette eſpéce qui ont été faites, & qui feroient plutôt un ſpectacle agréable & amuſant, qu'un concours de preuves néceſſaires pour confirmer ou pour éclaircir les principes, que nous croyons avoir établis aſſez ſolidement : il ſuffit qu'on entende bien

où il eſt à la ſurface de la terre, peut remplir un eſpace 4000 fois plus grand que celui qu'il a coutume d'occuper. *De la nature de l'Air*, p. 173.

quelques-uns de ces faits; tous les autres deviennent faciles à expliquer.

Mais après avoir fait connoître le ressort de l'air tendu par le poids de l'atmosphére, & les différens degrés de raréfaction dont ce fluide est susceptible, en partant de l'état où il est communément à la surface de la terre, il est à propos maintenant de faire voir combien on peut augmenter sa densité & son ressort, lorsqu'on le soumet à une pression plus grande que celle de l'atmosphére.

VI. EXPERIENCE.

Preparation.

La *Fig.* 16. représente un vaisseau de cuivre que l'on remplit d'eau environ jusqu'aux deux tiers de sa capacité : on y joint ensuite le canal *NO*, garni d'un robinet qui s'ajuste à vis au vaisseau, & dont le bout inférieur *O*, qui est ouvert, descend à une ligne près du fond. On adapte en *N*, la petite pompe foulante *PR*, *Fig.* 17. avec laquelle on fait entrer à force beaucoup d'air ; après quoi le robinet étant fermé, on ôte la pompe pour

X.
Leçon.

visser en sa place un ajutage percé d'un ou de plusieurs trous.

La pompe prend l'air par un trou pratiqué en *P*, au-dessus duquel on éléve le piston ; & ce même piston, en descendant, le force de passer par un petit trou pratiqué au fond, & sur lequel on a mis une soupape en-dehors, pour empêcher que l'air ne revienne dans la pompe quand on éléve de nouveau le piston.

Effets.

Dès que l'on ouvre le robinet, l'eau sort du vaisseau en forme de jet, qui monte d'abord à la hauteur de 25 ou 30 pieds, & qui baisse sur la fin.

Explications.

La quantité d'air qu'on force d'entrer dans le vaisseau remonte d'abord à travers de l'eau, à cause de sa légéreté, & va se joindre à celui qui occupe la place *L N Q*, dont il augmente d'autant la densité : cet air ainsi comprimé a une force élastique beaucoup plus grande que le poids de l'air extérieur qui résiste à l'orifice *N* du canal. Cette force se déploye

ſur la ſurface de l'eau, & la chaſſe par le canal qui eſt ouvert, avec d'autant plus de vîteſſe qu'il y a de différence entre la denſité de l'air qui eſt renfermé dans le vaiſſeau, & celle de l'air extérieur: & comme cet air qui chaſſe l'eau ſe trouve plus au large à meſure que le vaiſſeau ſe vuide, ſon reſſort s'affoiblit de plus en plus; & par cette raiſon le jet en devient moins élevé vers la fin.

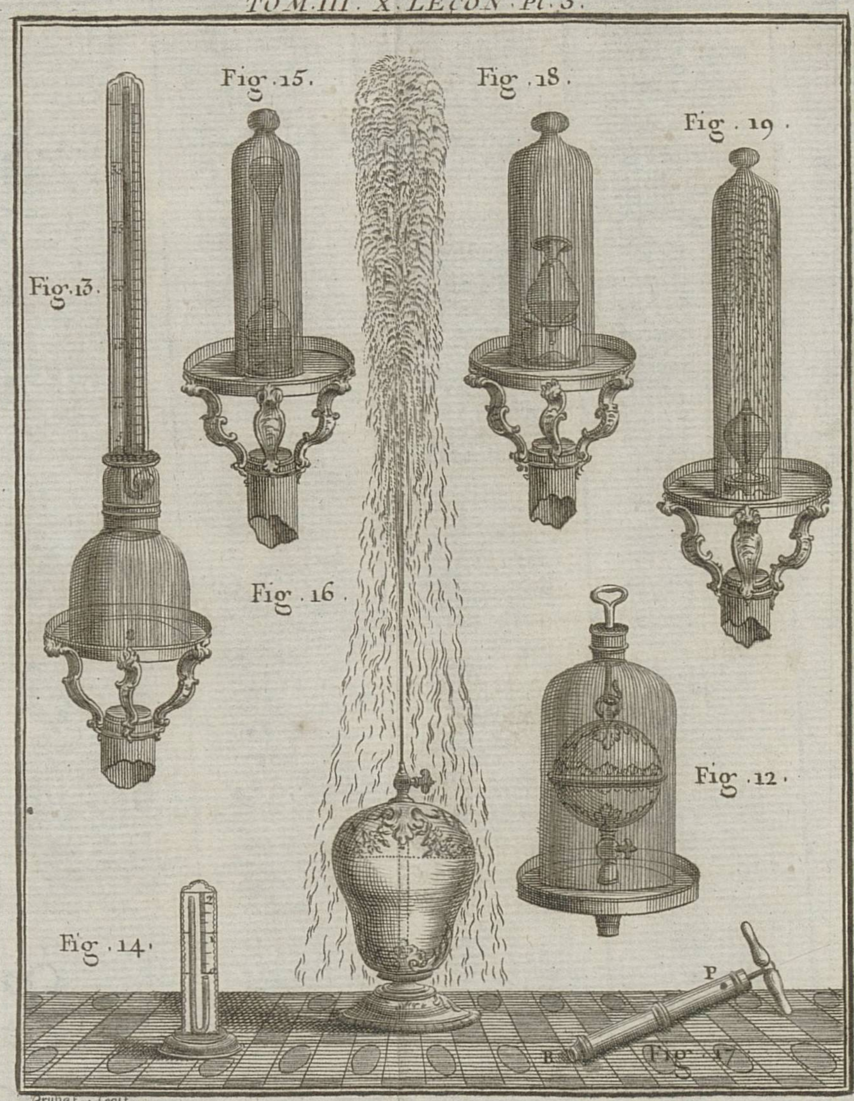
Si l'on avoit lieu de douter que l'effet dont il s'agit ici ne vînt, comme nous le diſons, d'un défaut d'équilibre entre l'air du vaiſſeau & celui du dehors; il ſeroit aiſé de s'en convaincre par une expérience aſſez jolie, & qui mérite d'être rapportée.

On peut cimenter un tuyau de verre, qui finiſſe en pointe à une bouteille de même matiére, de ſorte qu'elle ſoit en petit ce qu'eſt en grand le vaiſſeau de cuivre de l'expérience précédente; ſi l'on renverſe cette bouteille dans un gobelet plein d'eau, & qu'on couvre le tout d'un récipient ſur la platine d'une machine pneumatique, comme dans la *Fig.* 18. à meſure qu'on fera le vuide, on verra

X. LEÇON.

ſortir de la bouteille une partie de l'air qui formera des bouillons dans l'eau du gobelet ; & enſuite lorſqu'on laiſſera rentrer l'air dans le récipient, ſa preſſion pouſſera dans la bouteille autant d'eau qu'il en ſera ſorti d'air. Je ne m'arrête point à expliquer ces deux premiers effets, on doit les entendre par ce qui a été dit ci-deſſus. Mais ſi l'on redreſſe la bouteille, comme dans la *Figure* 19. & qu'on raréfie de nouveau l'air du récipient, celui qui eſt au-deſſus de l'eau venant à ſe raréfier lui-même, fera naître un jet qui s'élevera d'autant plus, qu'on aura rompu davantage l'équilibre entre les deux airs. Ici ce n'eſt pas l'air comprimé artificiellement qui force la réſiſtance du poids de l'atmoſphére, comme dans l'expérience précedente ; mais c'eſt le reſſort naturel de ce fluide que l'on met en état d'agir, en affoibliſſant celui qui lui réſiſte à l'orifice de la bouteille : c'eſt toujours un air plus fort contre un air plus foible, en un mot, de l'eau entre deux portions d'air qui ne ſont plus en équilibre.

VII. EXPERIENCE.


Fig. 15.
Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 13.
Fig. 16.
Fig. 12.
Fig. 14.
P
R
Fig. 17
Pruhet. fecit.

VII. EXPERIENCE.

X. LEÇON.

PREPARATION.

La *Fig.* 20. représente une espéce d'arquebuse composée de deux canons de métal, placés l'un dans l'autre, & entre lesquels il reste un espace bien fermé où l'on condense fortement l'air par le moyen d'une petite pompe foulante qui est logée dans la crosse. Il y a deux soupapes ; sçavoir, une au bout de la pompe, pour empêcher que l'air n'y revienne, quand on tire le piston ; & l'autre au bout du canon intérieur du côté de la culasse, où l'on a soin de placer une balle de calibre. La derniére de ces soupapes se léve par le moyen d'une détente, pour laisser passer l'air dans le petit canon, & se referme très-promptement, pour n'en faire échapper qu'une partie. Comme ces sortes d'armes ne sont pas fort en usage, j'ai fait construire celle dont je me sers, de maniére qu'on ne courût aucun risque en mettant les balles, & qu'on pût les ôter de même, sans être obligé de décharger l'air ; pour cet effet,

X. LEÇON.

il y a un canal ou réservoir qui contient 12 balles, & une espéce de robinet que l'on tourne, pour les placer successivement dans la direction du petit canon, ou pour les déplacer si l'on ne veut pas tirer. Pour conserver à cet instrument toute la forme extérieure d'un fusil, on l'a garni d'une platine dont la batterie sert à tourner la clef du robinet, & le mouvement du chien fait lever la soupape.

EFFETS.

Le chien étant armé, dès qu'on le détend, la balle est chassée avec tant de force, qu'on peut l'ajuster assez bien à 70 pas dans un cercle d'un pied de diamétre.

Les derniers coups ont toujours bien moins de force que les premiers; mais communément le huitiéme perce encore une planche de chêne épaisse de 6 lignes, & placée à la distance de 20 ou 25 pas.

L'air & la balle, en sortant, font peu de bruit, sur-tout si le lieu où l'on est, n'est point fermé ; ce n'est qu'un souffle violent qu'on entend à peine à 30 ou 40 pas.

X. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Après l'explication que j'ai donnée de l'expérience précédente, la ſeule préparation de celle-ci, doit ſuffire pour en faire entendre les effets : l'air condenſé entre les deux canons fait effort pour en ſortir ; dès qu'on lui donne ſon paſſage par le petit canon, il emporte tout ce qu'il y rencontre ; la balle reçoit donc une vîteſſe preſqu'égale à celle avec laquelle cet air commence à s'échapper. Mais comme la ſoupape ne demeure ouverte qu'un inſtant, il ne s'en échappe à chaque fois qu'autant qu'il en faut pour faire partir une balle : cependant les derniéres ſont pouſſées plus foiblement, parce que le reſſort de l'air diminue à meſure que ce qu'il en ſort lui laiſſe plus de place pour s'étendre. Le bruit eſt incomparablement plus foible que celui d'une arme à feu ; parce que ni la balle, ni l'air qui la pouſſe, ne frappent jamais l'air extérieur avec autant de violence & de promptitude qu'une charge de poudre enflammée, dont l'exploſion ſe fait toujours avec

X. LEÇON.

une vîtesse extrême. L'arquebuse à vent se fait pourtant plus entendre dans un lieu fermé, que dans un endroit découvert, parce qu'alors la masse d'air qui est frappée étant appuyée & contenue par des murailles ou autrement, fait une plus grande résistance.

APPLICATIONS.

Les fusils, pistolets, ou cannes à vent, sont des instrumens plus curieux qu'utiles ; la difficulté de les construire, celle de les entretenir long-tems en bon état, les rend nécessairement plus chers, & d'un service moins commode & moins sûr que les fusils à poudre ordinaires : le seul avantage qu'on y pourroit trouver, je veux dire celui de frapper sans être entendu, pourroit devenir dangereux dans la société, & c'est une précaution fort sage de restraindre le plus qu'il est possible l'usage de ces sortes d'instrumens. Ceux qui les aiment en parlent souvent avec enthousiasme, & leur font plus d'honneur qu'ils n'en méritent, en leur

attribuant des effets dont ils ne ſont pas capables : il n'eſt point vrai, par exemple, qu'ils ayent jamais autant de force qu'une arme à feu ; & c'eſt une choſe fort rare que les ſoupapes tiennent l'air aſſez conſtamment, pour les garder long-tems chargés.

Si les hiſtoires qu'on fait de la *poudre blanche* ont quelque réalité, on doit ſans doute les entendre dans le ſens figuré, du fuſil à vent, qui eſt capable de porter un coup aſſez meurtrier ſans faire un bruit conſidérable; car comme le bruit d'un fuſil ne vient point de la couleur de la poudre, mais qu'il eſt une ſuite néceſſaire de l'exploſion ſubite dont elle eſt capable, on doit croire que toute matiére qui ſe dilatera avec la même vîteſſe, qu'elle ſoit blanche ou noire, éclatera de même.

Quant aux fontaines artificielles où l'eau reçoit ſon mouvement du reſſort de l'air, on les peut varier de cent maniéres differentes, plus curieuſes & plus agréables les unes que les autres : elles le ſont d'autant plus qu'on y voit l'eau s'élever au-deſſus de ſa

X. LEÇON.

ſource, tout au contraire des jets ordinaires, qui ſe font, comme on ſçait, par une chûte d'eau, dont le réſervoir eſt plus haut. Je me contenterai d'un ſeul exemple, pour ne point m'arrêter infructueuſement à des choſes qui ſe trouvent dans tous les livres de Phyſique.

La fontaine qui eſt repréſentée par la *Fig.* 21. porte le nom d'Hero, à qui l'on en attribue l'invention; on la conſtruit communément de deux baſſins ou boëtes de métal que l'on joint par des tuyaux de même matiére: celle-ci eſt faite de verre, afin qu'on en apperçoive mieux le méchaniſme: la matiére & la forme extérieure ſont tout-à-fait indifférentes, on les peut varier ſelon ſon goût. Pour mettre cette fontaine en jeu, j'emplis d'eau juſqu'aux trois quarts le globe *AB*, par le canal *CD*, qui eſt ouvert de part & d'autre; j'en mets enſuite dans le baſſin *GH*, pour tenir toujours plein le tuyau *IK*, qui eſt ouvert d'un bout à l'autre. Cette colonne d'eau qui tend à ſe répandre dans le globe inférieur *EF*, charge de tout ſon poids la maſſe d'air dont

il eſt plein : cet air ainſi comprimé s'échappe par le canal *L M*, & déploye ſon reſſort ſur la ſurface de l'eau qui eſt en *A B*, & enfin cette eau preſſée par le reſſort de l'air, s'échappe en forme de jet par le canal *C D*, au bout duquel on met un ajutage percé, ſi l'on veut, de pluſieurs trous pour former une gerbe d'eau.

X. LEÇON.

Il ſuffit de mettre d'abord un peu d'eau dans le baſſin pour emplir le tuyau *I K*; le jet qui naît auſſi-tôt, fournit aſſez pour l'entretenir plein, & l'écoulement qui ſe fait ainſi du globe *A B*, retombe dans celui d'en-bas, que l'on vuide après l'opération, par une eſpéce de robinet qui eſt deſſous.

On fait uſage auſſi du reſſort de l'air comprimé, pour rendre continuel l'écoulement d'une pompe qui n'a qu'un piſton : ſuppoſons, par exemple, que la pompe aſpirante & foulante *n o p*, *Fig.* 22. ſoit enveloppée d'un vaiſſeau cylindrique de métal, qui forme autour d'elle un eſpace bien fermé *Q R S*, qui communique avec le tuyau montant *T V*.

Quand l'eau élevée par l'aſpiration

X. LEÇON.

ſous le piſton ſera forcée enſuite par la compreſſion de paſſer par la ſoupape qui eſt en *o*, non ſeulement elle s'élevera dans le tuyau, mais elle montera auſſi vers *Q R*, dans l'eſpace qui eſt autour de la pompe, & en s'élevant ainſi elle tendra le reſſort de l'air qui ſera entr'elle & le fond de cette cavité. C'eſt pourquoi pendant qu'on remontera le piſton, pour faire une nouvelle aſpiration, la réaction de cette maſſe d'air comprimé ſuppléera à la preſſion du piſton, & fera continuer l'écoulement en *V*.

Par ce moyen on gagne certainement en vîteſſe ; car le tuyau *TV*, fourniſſant de l'eau ſans interruption, il en paſſe une plus grande quantité dans un certain tems : mais cet avantage ne s'acquiert qu'aux dépens de la force, qui doit être plus grande de la part du moteur, puiſqu'il en faut non ſeulement pour porter le poids de l'eau qui péſe en *T*, mais auſſi pour comprimer l'air dont on veut tendre le reſſort. Au reſte il y a bien des cas où il eſt important de fournir de l'eau ſans interruption,

&

& c'eſt pour cette raiſon que l'on conſtruit ainſi ces petites pompes portatives ſi fort en uſage en Angleterre, en Hollande, & depuis quelques années à Paris (*a*), avec leſquelles chaque particulier peut arrêter au moins le progrès d'un incendie naiſſant, en attendant des ſecours plus puiſſans.

Depuis l'invention de la machine pneumatique, on a fait une grande quantité d'expériences dans le vuide ou dans l'air raréfié à différens degrés ; il étoit naturel de penſer qu'il y en avoit beaucoup à faire auſſi dans l'air condenſé au deſſus de ce qu'il l'eſt communément, & pluſieurs Phyſiciens ont déja mis la main à l'œuvre ; on ſe ſert pour ces ſortes d'épreuves, d'un vaiſſeau capable d'une grande réſiſtance, & l'on y fait entrer de l'air à force avec une petite pompe ſemblable à celle dont nous avons fait uſage ci-deſſus, pour la fontaine de compreſſion. * Mais

* *Fig.* 17.

(*a*) Le ſieur de Genſanes tient un magaſin de ces pompes, pour les vendre ou pour les louer. Il demeure, rue Montmartre, près ſaint Joſeph.

X. LEÇON.

l'air qui passe ainsi par une pompe se charge de vapeurs grasses & humides; & il y a bien des cas où il seroit à souhaiter qu'il fût plus pur, afin que ce qui résulte de l'experience ne puisse être attribué à rien autre chose qu'au degré de compression qu'on lui a fait prendre, à la densité de sa propre matiére. Cette considération m'a fait imaginer une nouvelle machine, avec laquelle on pourra comprimer l'air, sans diminuer le degré de pureté qu'il a dans l'atmosphére, ou même en l'augmentant; lorsque j'y aurai mis la derniére main, si elle en mérite la peine, j'en ferai part au public dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, à la suite des instrumens qui servent aux expériences de l'air, dont j'ai commencé la description.

Il paroît par les expériences de Boyle, qu'on peut par compression rendre le volume d'une masse d'air 13 fois plus petit qu'il n'est dans son état naturel à la surface de la terre. D'autres Philosophes ont porté depuis cette épreuve plus loin par différens procédés : celui qui paroît

X. LEÇON.

avoir le plus fait à cet égard, eſt M. Hales, qui dit *, avoir réduit l'air à la 1837e partie de ſon volume ordinaire (*a*); ſur quoi M. Muſchenbroek fait une réflexion qui paroît fort judicieuſe. « L'air, par cette expérience, eſt devenu, dit-il, plus » de deux fois auſſi péſant que l'eau; » ainſi comme l'eau ne peut être com» primée, il paroît de-là que les par» ties aëriennes doivent être d'une » nature bien différente de celle de » l'eau; car autrement ſi l'air étoit de » même nature, on n'auroit pû le ré» duire qu'à un volume 800 fois plus » petit; il auroit donc été alors pré» ciſément auſſi denſe que l'eau, & » il auroit auſſi réſiſté à toutes ſortes » de preſſions avec une force égale à » celle qu'on remarque dans l'eau. »

* *Stat. des végét. dans l'append. page* 390.

M. Hales à cette occaſion propoſe une eſpéce de jauge, propre à meſurer les hauteurs de la mer; mais comme la regle de M. Mariotte ſur la condenſabilité de l'air, n'eſt juſte

(*a*) Il y a de l'obſcurité dans le calcul de M. Hales; M. de Buffon ſon traducteur trouve qu'il faut corriger le réſultat, en comptant 1551 au lieu de 1837.

X. LEÇON.

que dans les dégrés moyens de compression, & qu'on ne sait point en quelle proportion ce fluide se comprime dans les degrés extrêmes, cette jauge ne pourroit pas avoir lieu.

M. Amontons, bien loin de révoquer en doute cette grande condensabilité de l'air, l'a supposée bien avant qu'on la connût par expérience, comme un principe par lequel on peut expliquer, selon lui, certains mouvemens intestins de notre globe; car après avoir prouvé que le ressort de l'air animé par la chaleur, est d'autant plus fort que ce fluide a plus de densité, il ne doute pas que les tremblemens de terre ne puissent être excités par des masses d'air souterrain qui se dilatent, & il fait voir que la partie inférieure d'une colonne de l'atmosphére prolongée de 18 lieues vers le centre de la terre, auroit, à cette profondeur, une densité égale à celle du mercure *.

* *Mém. de l'Académie*, 1703. p. 101.

LES expériences précédentes & les observations que nous y avons jointes, ont appris comment l'air change de densité, & de quelle maniére son ressort augmente ou diminue par une

preſſion plus ou moins grande : il reſte à ſçavoir maintenant, quels effets produiſent le chaud & le froid ſur ce fluide.

Ce n'eſt point ici le lieu d'examiner quelle eſt la nature du feu, ni comment il agit ſur les corps ; ces queſtions ſeront traitées dans la ſuite de cet ouvrage avec l'étendue qui leur convient ; nous dirons ſeulement par anticipation, & pour faciliter l'intelligence des effets que nous avons à expliquer préſentement, 1°. que le froid n'eſt, ni un être réel, ni une qualité poſitive, mais ſeulement l'état d'un corps qui eſt actuellement moins chaud qu'il ne l'a été ou qu'il ne le peut être, de ſorte qu'il n'y a rien dans la nature qui ſoit abſolument froid ; la glace, par exemple, n'eſt froide que par comparaiſon à l'eau dont elle eſt formée, ou à quelque corps plus chaud qu'elle ; c'eſt une vérité que nous développerons davantage dans la ſuite, & que nous appuyerons de toutes les preuves néceſſaires. 2°. On peut conſidérer la chaleur, comme l'effet d'une matiére extrêmement ſubtile, dont

X. LEÇON.

l'abondance ou l'action tient écartées les unes des autres les parties propres du corps qu'elle pénétre, & leur communique une partie de son mouvement.

En se représentant la chaleur sous cette idée, on concevra facilement deux effets très-remarquables qu'elle produit dans une masse d'air, & que nous allons faire connoître par des expériences. Le premier de ces effets est, qu'elle en augmente le volume, c'est-à-dire, qu'une même quantité d'air est capable d'occuper plus ou moins de place, quand elle est plus ou moins échauffée; le second effet de la chaleur sur l'air, est d'augmenter son ressort, à proportion de la pression dont il est chargé, de sorte qu'un même degré de chaleur appliqué à un même air doublement ou triplement condensé, lui donne un ressort double ou triple, comme on le verra par le détail des faits qui vont être rapportés.



X. LEÇON.

VIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Parmi plusieurs tubes de verre, tels que ceux dont on fait les baromé-tres, il en faut choisir un qui ait environ un pied ou 15 pouces de longueur, & qui soit partout d'un diamétre égal ; ce que l'on connoîtra facilement, en faisant aller d'un bout à l'autre une petite colonne de mercure : car si elle est toujours de la même longueur dans tous les endroits du tube où elle se trouvera, c'est une marque que la capacité est égale dans toutes les parties semblables. Ensuite il faut sceller hermétiquement une des extrémités, & le placer sur des charbons ardens, pour le faire chauffer jusqu'à rougir ; alors on le prend avec des pinces pour plonger promptement le bout qui est ouvert, dans du mercure bouillant, & on laisse le tout refroidir. *Voyez la Fig.* 23.

Pour donner un degré de refroidissement connu, on met pendant quelques minutes le bout qui est scellé, dans de la glace pilée, observant

X. LEÇON.

néanmoins que le tube ſoit dans une ſituation preſque horizontale, afin que l'air qui y reſte ne ſoit preſque point comprimé par le poids du mercure qui le tient renfermé.

EFFETS.

Le tube rougi au feu, & plongé dans le mercure, s'en remplit en partie ; & quand il a été quelque tems dans la glace, la portion d'air qui eſt contenue entre le bout ſcellé & le mercure, occupe à peu près le tiers de la longueur du tuyau.

EXPLICATIONS.

Le tuyau de verre, avant que d'être chauffé, étoit rempli d'une colonne d'air ſemblable à celui de l'atmoſphére : les parties de cette matiére qui fait la chaleur, quelle qu'elle ſoit, ayant pénétré le verre, & s'étant mêlées avec l'air, ont écarté les parties propres de ce fluide, & ſon volume, pour cette raiſon, s'eſt augmenté conſidérablement ; mais comme la capacité du tuyau ne s'eſt point aggrandie proportionnellement, une grande partie de l'air en

est sortie, & le tube est resté plein d'un peu d'air très-raréfié, & d'une grande quantité de la matiére du feu.

Ce tube ayant été plongé dans le mercure, a commencé à se refroidir, c'est-à-dire, que cette matiére étrangére qui avoit pénétré le verre pour se mêler avec l'air, s'est évaporée, ou qu'elle a perdu peu-à-peu la plus grande partie de son mouvement, ce qui a donné lieu aux parties de l'air de se rapprocher ; d'autant plus que le poids de l'atmosphére appuyant sur la surface du mercure, l'a obligé d'entrer dans ce tube, & de s'y avancer, jusqu'à ce que le peu d'air qui y étoit resté, eût acquis par une diminution suffisante de son volume, assez de densité pour lui résister.

On voit donc par cette expérience, qu'une certaine quantité d'air qui a la température de la glace & qui est soumise au poids de l'atmosphére, a trois fois moins de volume qu'elle n'en a sous la même pression, mais dans une chaleur capable de faire rougir le verre ; ou, ce qui est la même chose, que le volume de l'air dilaté par ce degré de chaleur est à

X. LEÇON.

celui qu'il a dans le froid de la glace, comme 3 à 1.

Par des expériences à peu près ſemblables, on a trouvé que le volume de l'air lorſqu'il commence à geler, eſt à celui qu'il a dans la chaleur de l'eau bouillante, comme 2 à 3, & qu'il ſe dilate environ d'un ſeptiéme à compter depuis le froid de la glace commençante, juſqu'à nos chaleurs communes d'été, qui ſont à peu près de 25 degrés au thermométre de M. de Reaumur.

Mais dans ces ſortes d'expériences, ſurtout lorſqu'on chauffe l'air conſidérablement, on trouve ſouvent des différences bien conſidérables, ſuivant l'état actuel de l'air ſur lequel on opére, ou des vaiſſeaux qu'on employe; car c'eſt un fait, que l'humidité ſe joignant à l'air que l'on fait chauffer, elle occaſionne une dilatation, qui eſt quelquefois 10 ou 12 fois plus grande qu'elle ne ſeroit avec le même degré de chaleur, ſi l'on employoit un air plus ſec.

D'ailleurs, comme l'air eſt plus denſe ou plus comprimé dans un tems que dans un autre, les réſultats va-

rient auſſi ſelon la hauteur actuelle du barométre, qu'on ne doit pas négliger de conſulter en pareil cas.

Applications.

C'eſt en dilatant l'air par une chaleur violente, que l'on fait crever avec éclat ces petites empoules de verre minces, qu'on ſouffle à la lampe d'un émailleur, & qu'on ſcelle hermétiquement : l'effet en eſt plus sûr & plus grand, quand on y renferme une petite goûte d'eau, non ſeulement parce que l'humidité procure une plus grande dilatation, mais auſſi parce que la fraîcheur de la liqueur empêche que le verre ne s'amolliſſe au grand feu, & ne ſe prête ſans rompre, à l'extenſion du fluide renfermé. Quand on met ces pétards à la bougie pour ſurprendre quelqu'un, on doit craindre que les éclats de verre ne ſautent aux yenx, & n'incommodent ceux qui ne ſont point en garde. Les châtaignes ou les marons qui crévent ſous la cendre chaude, ne ſont pas ſi dangereux, mais c'eſt encore un effet qui dépend de la même cauſe ; l'air renfermé ſous l'é-

corce se dilate, & la fait crever, quand on n'a point pris la précaution de l'entamer ; plus elle résiste, plus sa rupture est éclatante.

X. LEÇON.

Dans la premiére leçon *, j'ai fait mention d'une petite cassolette de verre que j'ai supposé être en partie pleine d'une liqueur odorante ; mais je n'ai point dit alors comment on s'y prend pour emplir ce petit vase, dont le col & l'orifice sont tellement étroits, qu'il n'y a pas moyen de penser à faire usage d'un entonnoir. On vient facilement à bout de cette opération, si l'on chauffe cette petite bouteille, & qu'on plonge aussitôt son ouverture dans la liqueur qu'on y veut introduire ; car en dilatant l'air par la chaleur, on en fait sortir une grande partie, & ce qui reste, venant ensuite à se condenser à mesure qu'il se refroidit, laisse un vuide où le poids de l'atmosphére porte la liqueur, comme il est arrivé à l'égard du tube qui a été employé dans l'expérience précédente.

* Prem. Sect. III. Exper. p. 27.

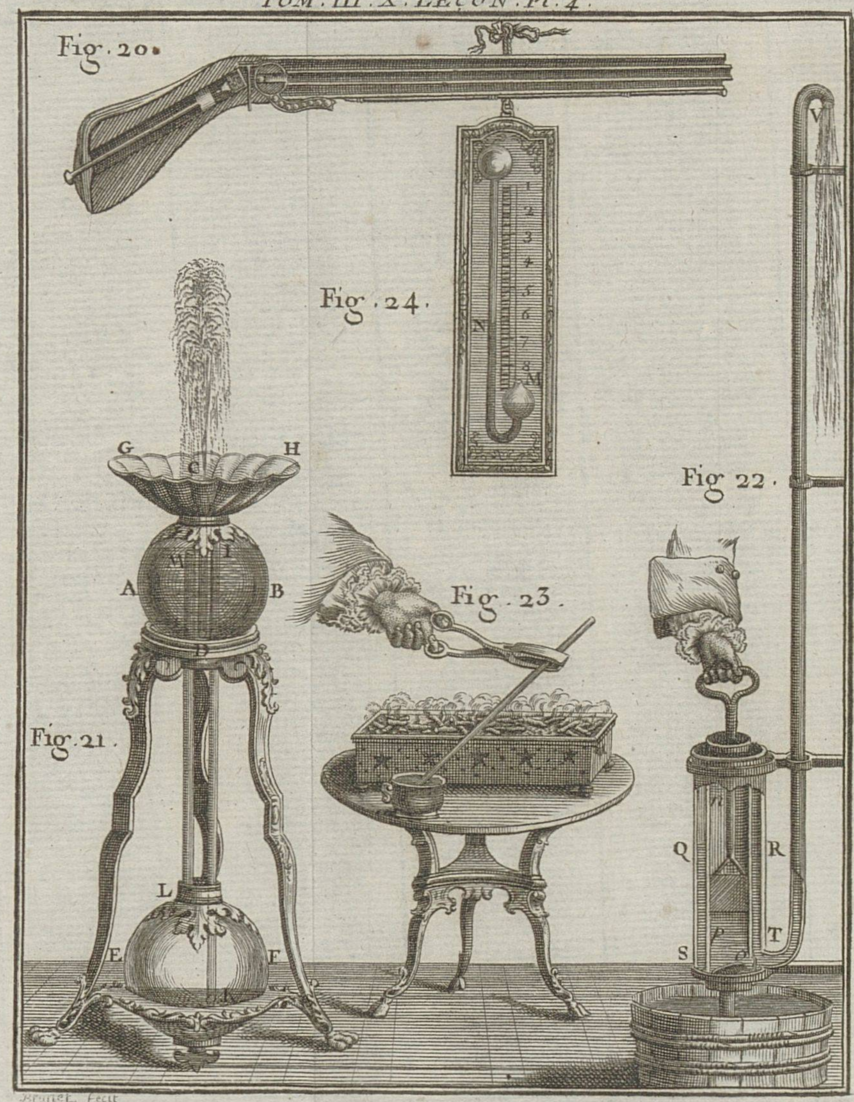
C'est aussi de cette maniére qu'on emplit les verres des thermométres, dont les tuyaux sont ordinairement si

menus, qu'on ne pourroit jamais y faire entrer la liqueur par tout autre moyen, à moins que d'y employer beaucoup de tems. La dilatation de l'air même, ne seroit encore qu'un moyen imparfait dans ces sortes de cas où il s'agit d'emplir entiérement le vaisseau, puisqu'une très-grande chaleur ne peut faire sortir qu'environ les deux tiers de l'air; mais on y en joint un autre dont nous parlerons par la suite, & qui procure une évacuation d'air beaucoup plus complette.

A propos des thermométres, celui de Sanctorius, qui est représenté par la *Fig*. 24. produit encore ses effets en conséquence de la dilatabilité de l'air. Lorsqu'on applique la main à la boule d'enhaut, l'air qu'elle contient, & qui remplit une partie du tuyau jusqu'en *N*, s'échauffe, se dilate, & fait descendre dans le réservoir d'enbas, une liqueur colorée, dont la marche devient sensible, & peut se mesurer par les graduations qui sont marquées sur la planche. Si l'air que l'on a échauffé se refroidit ensuite, il se condense, & la même

liqueur pouſſée par le poids d'une colonne de l'atmoſphére qui répond en *M*, remonte vers la boule ; ce qui devient remarquable, par les degrés de l'échelle qu'elle parcourt de bas en haut ; nous reprendrons l'hiſtoire de cet inſtrument, lorſque nous parlerons de ceux qui ſervent à meſurer les dégrés de chaud & de froid.

Comme on fait jaillir l'eau par la compreſſion de l'air, on peut de même employer ſa dilatation pour former des fontaines qui amuſent les curieux : ces principes de mouvemens auroient des applications ſans fin ; mais le recueil qu'on en pourroit faire n'entre point dans le deſſein de cet ouvrage, je me borne à deux exemples par leſquels on pourra juger des autres. *AB*, *Fig*. 25. eſt un vaſe de verre étranglé & ouvert en haut & en bas, dont la patte eſt arrêtée ſur le deſſus d'une caiſſe *CD*, formée en pied-d'eſtal : on a cimenté en *A*, un petit tuyau *EF*, qui d'une part finit en pointe comme un ajutage, & dont l'autre bout touche à quelques lignes près, le fond du vaſe. Un autre tuyau qui aboutit en *G*, &


Fig. 20.
Fig. 24.
1
2
3
4
5
6
7
8
N
M
V
G
H
C
I
A
B
D
Fig. 21.
L
E
F
Fig. 23.
Fig 22.
Q
R
S
T
Brunet fecit

qui eſt ouvert, paſſe dans l'étranglement *B*, où il eſt cimenté, & à travers du pied-d'eſtal, pour ſe joindre à une eſpéce de ballon de cuivre mince, auquel il eſt ſoudé. La caiſſe *CD*, eſt garnie de plomb par dedans; & le deſſus qui peut ſe lever, s'attache avec des crochets.

Le ballon de cuivre ne contient que de l'air; le vaſe *A B*, eſt rempli d'eau, environ juſqu'aux trois quarts de ſa capacité, & l'on verſe de l'eau bouillante dans la caiſſe *C D*, par un trou qui eſt pratiqué au-deſſus, & dans lequel on place un entonnoir.

L'air du ballon étant échauffé par l'eau bouillante dans laquelle il ſe trouve plongé, ſe dilate par le canal *G*; & preſſant par ſon reſſort la ſurface de l'eau qui eſt dans le vaſe *A B*, il la fait ſortir en forme de jet par le petit canal *E*. Il faut que le ballon de cuivre ſoit au moins deux fois auſſi grand que le vaſe *A B*; car, comme nous l'avons dit ci-deſſus, l'air ne ſe dilate que d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante, & l'eau ne peut pas bouillir dans la caiſſe qui contient le ballon.

X. LEÇON.

On pourra faire un petit jet semblable à celui qui est représenté par la *Fig.* 19. si, au lieu de placer la bouteille dans le vuide, on la plonge dans un bain d'eau bouillante : mais alors il est à propos que cette bouteille soit de métal, de crainte que la chaleur subite, ou la grande dilatation de l'air ne la fasse crever.

Si l'on veut faire un jet de feu, on se servira d'esprit-de-vin ou de bonne eau-de-vie, & l'on tiendra pendant quelques minutes l'orifice du vaisseau bouché avec le bout du doigt ou autrement, pour donner le tems à la liqueur de s'échauffer un peu ; & avec la flamme d'une bougie on allumera le jet lorsqu'il partira, *Voyez la Fig.* 26.

On vient de voir que la chaleur augmente le volume de l'air quand il est libre de s'étendre ; on apprendra par ce qui suit, que la même cause augmente son ressort, lorsque le volume est fixé par des obstacles.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ABC, *Fig.* 27. est un tube de verre qui

qui a un peu plus de 4 pieds de longueur, environ une ligne de diamétre intérieurement, recourbé par en bas, & terminé par une boule creuſe & mince, qui a 4 ou 5 pouces de diamétre. On y fait couler du mercure, pour emplir ſeulement la courbure *D B C*, & de maniére que l'inſtrument étant debout, cette liqueur ſoit en équilibre avec elle-même dans les deux branches; on juge bien que pour cet effet, il faut que l'air de la boule ne ſoit pas plus condenſé que celui de l'atmoſphére au moment de l'expérience. Enſuite on ajoûte du mercure dans la partie *A D* du tuyau, juſqu'à ce qu'il y en ait une colonne de 28 pouces, à compter du niveau, c'eſt-à-dire, de la ligne *D C*; & l'on plonge toute la partie inférieure dans un bain d'eau bouillante, de telle ſorte que la boule en ſoit entiérement couverte.

EFFETS.

L'inſtrument étant ainſi plongé, le mercure s'éléve de 18 pouces & quelques lignes dans la branche la plus longue, ce qui fait une colonne

X.
LEÇON.

d'environ 46 pouces, à compter du niveau du mercure dans la plus courte branche.

EXPLICATIONS.

Lorſqu'il n'y a du mercure que dans la courbure du tuyau, & qu'il n'eſt pas plus élevé dans une branche que dans l'autre ; l'air de la boule eſt, par ſon reſſort, en équilibre avec le poids de l'atmoſphére, qu'on ſuppoſe équivalent à 28 pouces de mercure, pendant le tems de l'expérience. Les 28 pouces de mercure qu'on ajoute enſuite dans la longue branche, doublent donc cette preſſion, & par conſéquent la denſité de l'air qui eſt dans la boule ; ſi cet air ainſi comprimé & plongé dans l'eau bouillante, devient capable de porter encore 18 pouces & 8 lignes de mercure, c'eſt une preuve que ce degré de chaleur augmente ſon reſſort d'un tiers ; car 18 pouces 8 lignes ſont juſtement la troiſiéme partie de 56, ſomme de la double preſſion dont l'air eſt chargé avant l'immerſion.

Comme les 18 pouces & 8 lignes de mercure s'élévent dans la longue

branche aux dépens de celui qui eſt dans la plus courte, le volume de l'air échauffé augmente toujours un peu pour deux raiſons ; 1ment. parce que le mercure qui paſſe dans l'autre branche, lui laiſſe un peu de place pour s'étendre ; 2ment. parce que le verre ſe dilate par la chaleur, & que la capacité de la boule, devient néceſſairement un peu plus grande, comme nous le ferons voir ailleurs : c'eſt pourquoi la denſité de l'air diminuant un peu, la force de ſon reſſort augmenté par la chaleur, n'eſt pas tout-à-fait auſſi grande qu'elle le ſeroit, ſi le volume demeuroit conſtamment dans ſes bornes ; ainſi l'augmentation de la colonne de mercure au-deſſus des 28 pouces ne va jamais juſqu'à 18 pouces 8 lignes ; mais il ne s'en faut que d'une petite quantité, quand on ſe ſert d'un tuyau fort menu, par comparaiſon à la capacité de la boule.

C'eſt donc un fait inconteſtable, que la force du reſſort de l'air augmente d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante : mais quelle eſt la raiſon de ce fait, & comment arrive-t-il que

X. LEÇON.

les parties de l'air échauffé acquiérent plus de roideur? c'eſt ce que l'expérience n'apprend point. On peut dire cependant, en raiſonnant par des conjectures aſſez plauſibles, que* » l'action de la chaleur conſiſte, » comme nous l'avons déja dit, en » une infinité de petites particules » très-agitées, qui pénétrent les » corps. Quand elles entrent dans une » maſſe d'air, elles en ouvrent & elles » en développent les lames ſpirales, » non ſeulement parce que ce ſont » de nouveaux corps qui ſe logent » dans leurs interſtices; mais principalement, parce que ce ſont des » corps qui ſe meuvent avec beaucoup de violence; de-là vient » l'augmentation de ce volume d'air. » Que s'il eſt enfermé de maniére » qu'il ne ſe puiſſe étendre, les particules de feu qui tendent à ouvrir » les ſpirales, & ne les ouvrent point, » augmentent par conſéquent leur » force de reſſort, qui ceſſeroit, ſi » elles s'ouvroient librement. Quand » l'air eſt condenſé, il y a plus de » particules d'air dans un même eſpace, & quand les particules de feu

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1702. p. 3.

» viennent à y entrer, elles exercent
» donc leur action sur un plus grand
» nombre de particules d'air ; c'est-
» à dire, qu'elles causent ou une plus
» grande dilatation ou une plus gran-
» de augmentation de ressort. Or
» quand l'air est chargé d'un plus
» grand poids, il est plus condensé ;
» & par conséquent, s'il ne peut alors
» s'étendre, comme on le suppose
» toujours, un même dégré de cha-
» leur augmente davantage son res-
» sort. »

APPLICATIONS.

En procédant comme dans l'expérience précédente, on observe que l'augmentation causée au ressort de l'air par la chaleur de l'eau bouillante, est égale au tiers du poids dont l'air est alors chargé, si l'expérience est faite dans le printems ou dans l'automne, c'est-à-dire, dans un tems qui tienne à-peu-près le milieu entre le grand chaud & le grand froid. Ainsi l'air que nous respirons, toujours chargé d'un poids égal à celui de 28 pouces de mercure à-peu-près, étant échauffé par de l'eau bouillante,

X. LEÇON.

augmenteroit la force de son ressort de 9 pouces 4 lignes. Un air condensé au double, l'augmenteroit de 18 pouces 8 lignes, qui sont le tiers de 56. Réciproquement un air toujours dans le même état de condensation augmentera différemment son ressort, selon les différens degrés de chaleur.

M. Amontons à qui l'on doit cette découverte, en a fait lui-même une application utile, en construisant sur ce principe un thermométre d'air * qui me paroît avoir été le premier (a) où les degrés de chaleur se rapportassent à un terme connu : car avant lui ces sortes d'instrumens n'apprenoient rien, sinon qu'il faisoit plus froid ou plus chaud que dans un autre lieu, dans un autre tems où on les avoit observés : les thermométres comparables ont pris naissance entre ses mains ; s'il ne les a point portés au degré de perfection où ils sont aujourd'hui, on lui a du moins l'obligation de nous avoir mis sur la voye.

* *Mém. de l'Académie des Sciences*, 1702. *pag.* 161.

(*a*) On trouve dans les Transact. Philosop. n. 197. année 1693. un mém. de M. Halley, qui a pour objet de faire un thermométre comparable en tous lieux & sans modéle.

Un poelle allumé dans une chambre, ne manque pas d'en raréfier l'air, parce que cet air n'eſt pas tellement renfermé, qu'il ne communique un peu avec celui du dehors, par des petits paſſages qui ſe trouvent toujours à la porte ou aux fenêtres, & qui lui laiſſent la liberté de s'étendre; mais l'air, quoiqu'ainſi raréfié & moins denſe que l'atmoſphére, ſe tient pourtant en équilibre avec elle, parce qu'en s'échauffant il acquiert un degré de reſſort qui le met en état d'en ſoutenir la preſſion; la même cauſe qui diminue ſa denſité, augmente d'autant ſon reſſort, & l'un ſupplée à l'autre.

Il n'en eſt pas de même lorſqu'on fait du feu dans une cheminée; l'air s'y raréfie, ſans que ſon reſſort augmente, parce qu'il peut s'étendre facilement; auſſi-tôt l'équilibre ceſſe entre les deux colonnes de l'atmoſphére qui répondent aux deux extrémités du tuyau; celle qui péſe par en bas ayant toute ſa denſité, l'emporte ſur l'autre qui eſt en partie raréfiée, & il ſe fait un courant d'air de bas en haut: voilà au moins ce qui arrive

X. Leçon.

pour l'ordinaire ; nous aurons peut-être occaſion d'examiner ailleurs, quelles ſont les cauſes qui peuvent empêcher cet effet, & déterminer l'air à deſcendre par la cheminée.

De tous les uſages que nous faiſons de l'air, il n'en eſt point de plus fréquent, de plus remarquable, de plus néceſſaire, que celui qu'on nomme *reſpirer*. Environ 50 fois dans chaque minute, la poitrine s'éléve & s'abbaiſſe, & par ce mouvement alternatif aſſez ſemblable à celui d'un ſoufflet qui eſt en jeu, elle ſe rétrécit & ſe dilate : en ſe dilatant, elle reçoit l'air extérieur, qui preſſé par le poids de l'atmoſphére paſſe dans les véſicules des poulmons ; lorſque la poitrine s'abbaiſſe enſuite, l'air qui ne peut plus y être contenu, paſſe au dehors & emporte avec lui les vapeurs dont il s'eſt chargé ; la premiére de ces deux actions ſe nomme *inſpiration*, la derniére s'appelle *expiration*, & l'une & l'autre ſont tellement néceſſaires pour la conſervation de la vie, qu'il n'y a aucun animal qui ne périſſe infailliblement quand on lui interdit ce double mouvement, ou qu'on le prive

prive d'un air capable de l'entretenir, comme on le verra dans les expériences ſuivantes.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On couvre d'un grand récipient un pigeon ou quelqu'autre oiſeau que l'on place ſur la platine d'une machine pneumatique, & l'on donne pluſieurs coups de piſton pour raréfier l'air peu-à-peu. *Fig.* 28.

EFFETS.

Quand la denſité de l'air eſt diminuée à-peu-près de moitié dans le récipient, l'oiſeau tombe en convulſion ; aſſez ſouvent il ſe vuide par le bec, ou par la voie ordinaire des excrémens ; & ſi l'on continue de faire le vuide plus parfaitement, ou qu'on le laiſſe ſeulement quelques minutes en cet état, il périt ſans retour ; mais lorſqu'on lui rend l'air promptement, il ſe rétablit en peu de tems : ce rétabliſſement, à dire vrai, n'eſt pas pour l'ordinaire, de longue durée ; je n'ai guères vû d'oi-

X. LEÇON.

ſeaux, ni même d'autres animaux, qui ayent beaucoup ſurvécu à cette épreuve.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un grand vaſe de verre preſque plein d'eau, on met un petit poiſſon vivant, & l'on couvre le tout d'un grand récipient ſur la machine pneumatique. *Fig.* 29.

EFFETS.

A meſure qu'on fait le vuide dans le récipient, on voit ſortir des bulles d'air de deſſous les écailles du poiſſon, par ſes ouies & par ſa bouche. L'animal ſe tient à la ſurface de l'eau ſans pouvoir aller au fond; il y meurt enfin, mais ce n'eſt qu'après pluſieurs heures d'épreuve: & quand on fait rentrer l'air dans le récipient, ſoit avant ſoit après ſa mort, il retombe au fond du vaſe, & ne peut jamais remonter à la ſurface de l'eau.

EXPLICATIONS.

La vie animale, comme on ſçait,

X. LEÇON.

consiste principalement dans le mouvement du cœur & dans la circulation du sang. Or si l'on en croit les plus habiles Anatomistes, & si l'on en juge par leurs observations & par leurs expériences, la respiration entretient l'un & l'autre ; soit parce que l'air qui est poussé dans les poulmons par le poids de l'atmosphére, sert d'antagoniste aux muscles que la nature employe pour l'inspiration, & que pressant les vaisseaux où le sang a été porté par la contraction du cœur, il le détermine à refluer vers cette source, pour aller ensuite aux autres parties du corps ; soit parce que l'air divisé & filtré, pour ainsi dire, se mêle avec le sang & circule avec lui en l'animant par son ressort * : l'animal qui ne peut pas respirer, ne peut donc pas continuer de vivre.

* *M. Mery, Mém. de l'Acad. des Sc. 1700. p. 211.*

L'oiseau que l'on a placé dans un air considérablement rarefié, ne respire plus, parce que cet air ne participe plus au poids de l'atmosphére, dont il est séparé, & que son ressort, comme sa densité, est beaucoup diminué. C'est en vain que la poitrine se dilate, le fluide qui a coutume de

X. LEÇON.

s'y introduire n'en a plus la force ; ainsi le mouvement alternatif que l'on nomme respiration, ne peut plus avoir lieu, puisque des deux puissances qui le produisent, on en supprime, ou on en affoiblit une, qui est le poids ou le ressort de l'air.

Une autre cause qui fait périr un animal dans le vuide, c'est que l'air qu'il a dans les différentes capacités & dans les fluides mêmes de son corps, se raréfie fortement, lorsqu'il n'est plus contenu par la pression de l'air extérieur ; car toutes ces portions d'air dilaté, acquérant un volume beaucoup plus grand que celui qu'elles ont dans l'état naturel, compriment & rompent souvent les parties où elles se trouvent engagées, ou bien elles font des obstructions dans les vaisseaux, & arrêtent le cours des humeurs. C'est pour cela sans doute que les animaux ont ordinairement des nausées, ou qu'ils se vuident lorsqu'on les applique à ces sortes d'épreuves ; car l'air des intestins ou de l'estomac venant à s'étendre, chasse devant lui les alimens non digérés, ou les excrémens qui lui ferment le passage.

X. LEÇON.

On ne peut pas douter qu'il n'y ait de l'air dans le corps des animaux, & même de ceux que la nature a destinés à vivre dans l'eau, puisqu'on le voit sortir du poisson à mesure qu'on fait le vuide dans le récipient. Il y a toute apparence que les aquatiques & les amphibies respirent différemment des autres animaux qui vivent continuellement dans l'air, puisque la privation de cet élément, ne les fait pas mourir aussi promptement ; mais on doit croire que ce qui accélére le plus leur perte dans le vuide, c'est l'air intérieur qui se dilate & qui met tout en désordre. Cette double vésicule qu'on trouve dans les carpes & dans la plûpart des autres poissons, se distend en pareil cas & fait enfler le corps de l'animal ; c'est pourquoi tant qu'il est dans le vuide, il surnage malgré lui, étant plus léger alors que le volume d'eau auquel il répond : mais il devient plus petit & se précipite involontairement, quand on fait rentrer l'air dans le récipient ; parce que la vésicule en se dilatant s'est vuidée en partie, & que le reste de l'air qu'elle contient,

X. LEÇON.

lorſqu'il reprend une denſité égale à celle de l'atmoſphére, n'eſt plus capable de la remplir, comme il eſt facile de s'en aſſûrer en ouvrant le corps du poiſſon.

APPLICATIONS.

Par l'explication que je viens de donner des deux expériences précédentes, on voit que les animaux placés dans le vuide y périſſent par deux raiſons principales : premiérement, par défaut de reſpiration ; ſecondement, par la dilatation de l'air qui ſe trouve renfermé dans leurs corps. Comme les genres & les eſpéces différent non ſeulement par la figure & par les moeurs, mais encore par la conformation, le nombre & la grandeur des parties internes, il eſt vraiſemblable que tout ce qui reſpire, ne reſpire point de la même façon ; que dans certains animaux la reſpiration doit être abondante & fréquente ; & que dans d'autres au contraire elle peut ſe faire plus lentement & avec un air plus rare, au moins pour un certain tems. Voilà, ſans doute, pourquoi de tant d'animaux d'eſpé-

ces différentes, éprouvés dans le vuide par Boyle, l'Académie de Florence, Derham, Muſchenbroek, & tant d'autres Phyſiciens, les uns meurent dans l'eſpace de 30 ou de 40 ſecondes, comme preſque tous les oiſeaux, les chiens, les chats, les lapins, les ſouris, &c. pendant que d'autres ſoutiennent un vuide de pluſieurs heures, comme les poiſſons, la plûpart des reptiles, & nommément la grenouille, qui réſiſte quelquefois à cette épreuve pendant un jour entier ſans mourir. Car puiſque ces derniers animaux vivent commodément dans l'eau, on ne peut pas dire qu'ils ayent beſoin de reſpirer à la maniére des animaux terreſtres; & peut-être ſoutiendroient-ils le vuide plus long-tems qu'ils ne font, s'ils n'avoient à y ſouffrir qu'une ſimple privation d'air, & ſi celui qu'ils ont au-dedans du corps ne dérangeoit rien à l'œconomie des parties, par ſa grande dilatation. Ce qui me porte à penſer ainſi, c'eſt qu'on les voit s'enfler conſidérablement, & qu'après la mort, on leur trouve toujours les poulmons flaſques & plus péſans que l'eau.

X. LEÇON.

Une autre raiſon qu'on pourroit alléguer encore en faveur de cette opinion, c'eſt que preſque tous les inſectes, ceux même qui vivent en plein air, les papillons, les mouches, les ſcarabées ſouffrent, ſans périr, une privation d'air qui va quelquefois à pluſieurs jours, ſans doute parce que n'ayant dans le corps que de très-petits volumes d'air qui ſe dilatent peu, le vuide ne peut leur être mortel, que par le ſeul défaut de reſpiration ; & ces petits animaux vraiſemblablement peuvent être long-tems ſans reſpirer, au moins l'air groſſier.

Convenons cependant que l'état naturel de tous ces animaux, eſt de pouvoir prendre l'air, & que c'eſt leur faire violence que de les en priver. On voit le poiſſon s'élancer de lui-même à la ſurface des étangs, pour en prendre de nouveau & pour rejetter celui qu'il a pris précédemment. Les Naturaliſtes conviennent qu'il ſçait filtrer & s'approprier celui qui eſt diſſeminé dans l'eau ; & quand il meurt ſous la glace, on a raiſon de croire que c'eſt parce que l'air lui a manqué, puiſqu'on évite cet accident

quand on a ſoin de rompre les glaçons. Enfin le poiſſon vit beaucoup plus longtems dans l'air & ſans eau, qu'il ne peut faire en pleine eau s'il manque d'air.

X. Leçon.

En conſéquence de ce dernier fait qui eſt inconteſtable, en voici un autre que je trouve dans de bons Auteurs, & que j'ai appris moi-même en Hollande & en Angleterre, de pluſieurs perſonnes que je ne puis pas ſoupçonner d'avoir voulu m'en impoſer. On ſuſpend, dit-on, des carpes dans des petits filets ſur de la mouſſe humide & dans un lieu frais, & pendant deux ou trois ſemaines on les engraiſſe avec de la mie de pain trempée dans du lait. S'il n'y a rien à rabbattre de ce récit (*a*), il eſt évident que l'air eſt plus néceſſaire que l'eau au poiſſon même, & qu'on peut mettre ce principe à profit.

(*a*) J'ai tenté deux fois cette expérience ſans ſuccès ; mais je n'en ai pu rien conclure de certain, parce que les carpes que j'ai employées, avoient été fatiguées par un aſſez long tranſport, ou aſſez mal-traitées depuis qu'elles étoient ſorties de l'eau. Je n'ai jamais pu leur faire rien avaler : elles ſont mortes en moins de 24 heures.

X. LEÇON.

Quelques Auteurs ont obſervé, que les chiens, les chats, les lapins, &c. nouveaux-nés, ne meurent pas dans le vuide auſſi promptement que les adultes des mêmes eſpéces ; c'eſt que la reſpiration eſt d'une néceſſité plus preſſante pour ceux-ci que pour les premiers. Pour en ſentir la différence, il faut ſçavoir, qu'avant la naiſſance, il n'y a qu'une circulation pour la mere & pour le fœtus. Dans celui-ci qui ne reſpire point encore, le ſang va de l'oreillette droite à l'oreillette gauche du cœur, par une communication que les Anatomiſtes ont nommé *le trou ovale*, & ſans être obligé de paſſer par le poulmon, où l'air extérieur n'a point d'accès : mais après la naiſſance, ce paſſage ſe ferme peu-à-peu, & la reſpiration devient néceſſaire, pour enfler les véſicules du poulmon, & pour faire circuler le ſang dans le nouvel animal ſéparé de ſa mere, de la même façon que la reſpiration de celle-ci le faiſoit circuler précédemment dans l'un & dans l'autre. C'eſt pourquoi l'on reconnoît communément ſi un enfant eſt mort avant que de naître, ou s'il a reſpiré

avant que de mourir, en mettant ſon poulmon dans l'eau; car s'il ſurnage, c'eſt une marque qu'il y a de l'air, & que l'enfant a reſpiré, ce qu'il n'a pû faire qu'après ſa naiſſance. C'eſt une épreuve que la Juſtice mettoit en uſage, lorſqu'il s'agiſſoit de juger une mere qui étoit accuſée d'avoir tué ſon enfant, & qui ſe défendoit de ce crime, en ſoutenant qu'il étoit venu mort au monde. Mais on a obſervé depuis, qu'en certains cas le poulmon d'un fœtus peut ſurnager, & que celui d'un enfant nouveau-né peut aller au fond de l'eau; ce qui rend cette expérience inſuffiſante pour établir un jugement de cette importance.

Pluſieurs Anatomiſtes * prétendent avoir trouvé le trou ovale encore ouvert dans des adultes. Cette obſervation, qui n'eſt preſque (*a*) point conteſtée, peut expliquer certains faits dont le récit révolte les eſprits

* *Hiſt. de l'Académ. des Scienc.* 1700. *p.* 40.

(*a*) Cheſelden célébre Anatomiſte de Londres, prétend que tous ceux qui ont cru voir le trou ovale dans les adultes, ſe ſont trompés en prenant pour ce trou l'ouverture des veines coronaires. *Derham. Theol. Phyſ. liv.* 4. *chap.* 7. *rem.* 15.

X. LEÇON.

les plus crédules. Telle est l'histoire du Jardinier (*b*) de Troningholm en Suéde, qu'on dit avoir été 16 heures perdu dans l'eau & sous la glace, sans avoir été noyé ; telle est celle d'un certain Laurent Jonas qui y resta, dit-on, sept semaines sans mourir : l'une & l'autre sont rapportées par Pecklin * sur des témoignages qui paroissent authentiques. Je sens par moi-même qu'on aura bien de la peine à s'y rendre ; mais pourtant, s'il est vrai qu'on puisse vivre autant que le sang peut circuler, que la circulation se fasse librement sans respirer l'air, dans ceux qui ont le trou ovale encore ouvert, & que ce trou ait été observé dans des adultes, seroit-il impossible qu'il se rencontrât de ces faits extraordinaires ?

* *De aëris & alim. conf. c. 10.*

On croira plus facilement ce que l'on raconte de plusieurs personnes qui ont été étranglées par ordre de la

(*b*) Une personne du pays, distinguée par sa naissance & par un goût décidé pour les Sciences, m'a assuré que ce fait passe constamment pour vrai en Suéde ; mais que c'est à Stromsholm, séjour ordinaire de la Cour, & non à Troningholm, qu'il est arrivé.

Juſtice, ou autrement, & qui ont été trouvées vivantes, après avoir été détachées de la potence ; ces exemples ſe rencontrent plus fréquemment, & pluſieurs ſont ſuffiſamment atteſtés. Cependant il paroît qu'il y a plus de cauſes de mort dans les pendus que dans les noyés ; la ligature du col qui contraint les vaiſſeaux, les efforts qui ſe font ſur cette partie, tant par le poids du corps que par celui qu'on y ajoute, les coups & les différens mouvemens que l'exécuteur employe pour hâter le ſupplice : ſi malgré tout cela il ſe trouve encore de tems en tems quelques-uns de ces malheureux qui reprennent vie (*a*), je ſerois tenté de croire qu'on pourroit ſauver beaucoup de noyés, qui ont été peu de tems dans

(*a*) Ces ſortes de ſuppliciés échappent à la mort, ou parce que l'étranglement a trop peu duré, pour éteindre entiérement en eux le principe de la vie, ou parce que la corde, au lieu de ſerrer les anneaux de la trachée, a porté ſon effort ſur le cartilage *Scutiforme*, qu'on nomme vulgairement le nœud de la gorge, & qui eſt capable d'une très-grande réſiſtance dans certains ſujets ; au moyen de quoi la reſpiration n'a point été entiérement interrompue.

X. LEÇON.

l'eau, que l'on juge morts ſur des ſignes aſſez ſouvent équivoques, ou que l'on achéve de faire périr par des ſecours mal entendus. J'appelle ſecours mal entendus, de les tenir ſuſpendus, la tête en bas, & ſouvent dans un air froid; il ſeroit mieux d'eſſayer à ranimer le ſang par une chaleur douce, par des liqueurs ſpiritueuſes, par des frictions, & de les tenir dans une ſituation naturelle & commode; car ils ont avalé peu d'eau, & ce qu'ils en ont dans l'eſtomac n'eſt pas le mal le plus preſſant ou le plus réel.

Si la reſpiration manque aux animaux dans le vuide, ou dans un air conſidérablement rareſié, elle devient pénible auſſi dans un air condenſé au-delà de ſon état ordinaire. MM. Derham & Muſchenbroek ont mis des oiſeaux & des poiſſons dans un air deux ou trois fois plus condenſé qu'il ne l'eſt communément par le poids de l'atmoſphére, & ces animaux pour la plûpart y ont péri en 5 ou 6 heures: on ne doit pas douter qu'on ne leur ait fait violence, en rompant ainſi l'équilibre entre l'air

intérieur de leur corps, & celui qui les environnoit; & qu'ils n'eussent eû beaucoup plus à souffrir encore, s'ils eussent été mis dans un air excessivement comprimé. Mais on ne croira pas qu'une double ou une triple condensation ait été la principale cause de leur mort, lorsqu'on sçaura, que des animaux des mêmes espéces ne vivent guéres plus long-tems dans un air qui a la densité & la température de l'atmosphére, s'il lui manque seulement d'être renouvellé.

C'est un fait constaté par l'expérience, & que les Physiciens expliquent de diverses façons. Les uns prétendent (& c'est le plus grand nombre) que l'air qui a été respiré, est chargé des vapeurs & des exhalaisons, dont il a purgé le sang; & qu'il ne peut plus être respiré en cet état, sans causer une surabondance de ces parties nuisibles qui arrêtent la circulation, & qui suffoquent l'animal. Les autres pensant avec raison, que l'air n'est propre à la respiration qu'autant qu'il est élastique, croyent qu'il perd une grande partie de son ressort, par le séjour qu'il fait dans

X. LEÇON.

les poulmons, ou dans les vaiſſeaux ſanguins ; & qu'ainſi, pour le reſpirer ſainement, il faut, ou qu'il ſe renouvelle, ou qu'il ſoit purgé des parties hétérogênes dont il paroît viſiblement chargé au moment de l'expiration. On peut conſulter à ce ſujet tout ce qui eſt rapporté par M. Hales dans ſa *Statique des végétaux*, *c. 6. Exp.* 107. *& ſuiv.* où l'on trouvera des obſervations fort curieuſes.

Quoi qu'il en ſoit, c'eſt agir prudemment que de ne ſe point expoſer dans un air que l'on ſoupçonne d'être infecté d'une grande quantité d'exhalaiſons, ſurtout de celles qui ſont ſulfureuſes. Les cloaques qui ont été long-tems fermés, les ſouterrains qui avoiſinent les miniéres, les lieux clos où l'on a tenu du charbon allumé, les celliers mêmes dans leſquels fermentent les vins nouveaux ou la bierre, ſont extrêmement dangereux *. On en peut juger par cette fameuſe grotte d'Italie, dans laquelle un chien, ou tout autre animal, ne peut demeurer une minute ſans être ſuffoqué ; par cet accident auſſi funeſte que mémorable *, arrivé à Chartres dans la cave d'un

* *Camerarius, in Epiſt. Taurinenſibus.*

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1710. *pag.* 17.

X.
LEÇON.

d'un boulanger, où ſept perſonnes furent étouffées ſubitement l'une après l'autre, par la vapeur de la braiſe; enfin par quantité d'ouvriers qu'on ſçait avoir péri de cette maniére, ſoit en fouillant des foſſes, ſoit en nettoyant de vieux puits. L'uſage des poëles même peut être pernicieux, ſurtout dans les commencemens, lorſqu'ils ſont de fer ou de cuivre. & qu'on les chauffe fortement ; ce dernier métal ſurtout peut jetter dans l'air des exhalaiſons très-nuiſibles.

Non ſeulement on doit éviter cet air empoiſonné, dont les effets ſont ſi prompts ; mais la prudence pourroit aller juſqu'à purifier, ou renouveller au moins, celui qu'on eſt obligé de reſpirer. Pourquoi, par exemple, ne prendroit-on pas cette peine pour des vaiſſeaux, pour des ſales de ſpectacles, pour des mines, pour des Hôpitaux ? Pluſieurs Phyſiciens fort habiles * en ont fourni les moyens, & les épreuves en ont été faites avec ſuccès. Je crois même que des perſonnes qui reſtent 9 ou 10 heures au lit, devroient avoir l'attention de n'y être point enve-

* *Deſaguilliers. Tranſact. Philoſ. n. 407. Hales, deſcript. du Ventilateur, par le moyen duquel, &c. traduit en Franç. par Mr Demours.*

X. LEÇON.

loppées de rideaux fort épais, & qui ſe ferment fort exactement ; car il n'eſt pas ſain de demeurer ſi long-tems dans une petite maſſe d'air qui ne ſe renouvelle point aſſez, & dont la pureté ne ſçauroit manquer d'être fort alterée, par la tranſpiration inſenſible & par la reſpiration.

Si l'on pouvoit purifier l'air avec autant de facilité qu'on le peut renouveller, il n'eſt pas douteux qu'on ne le dût faire avec ſoin dans bien des occaſions ; & nous ſerions trop heureux, s'il ne s'agiſſoit que d'en faire connoître l'utilité. Jugeons de notre élément, comme nous le faiſons de celui des poiſſons ; ſi l'eau d'un vivier ou d'un étang devient infecte, ne voit-on pas languir le poiſſon ? & la mortalité ne s'y met-elle pas en peu de tems ? A quoi devons-nous attribuer les maladies épidémiques, dont les ſymptômes ſont les mêmes dans des ſujets qui vivent tout differemment les uns des autres, dans un enfant, dans un adulte, dans un Prince, dans un Payſan, &c. eſt-ce à la nourriture, au genre de vie, à l'âge, au tempérament ? n'eſt-ce pas plu-

tôt aux qualités actuelles de l'air qu'ils respirent tous en commun ? ne voit-on pas ces sortes de contagions se communiquer souvent, ou se dissiper par les vents, ou par d'autres changemens qui arrivent dans l'atmosphére ?

X. LEÇON.

Boyle * fait mention d'une liqueur très-volatile, dont Drebell se servoit pour purifier l'air dans une espéce de vaisseau qu'il avoit imaginé pour aller entre deux eaux; (car on sçavoit déja, qu'un air qui avoit été respiré, devenoit, en peu de tems, incapable de l'être davantage :) on trouve des Auteurs * qui disent avoir vû le vaisseau, qui l'ont même imité avec peu de succès, & dont le témoignage ne nous fait point regretter cette invention. Mais pour la liqueur, qui mériteroit bien des éloges, & dont on pourroit tirer de grands avantages, si le secret n'en étoit point mort avec son auteur, personne ne dit l'avoir vûe, & je crois qu'il est très-permis de douter au moins de cette merveille.

* *Exp. physico-mechan. Exp. 41.*

* *Papin, Recueil de diverses piéces, &c. édition 1695.*

Si l'on peut se flatter de purger l'air, je pense qu'on n'y parviendra

X. LEÇON.

que par une ſorte de filtration, en l'obligeant de paſſer par quelque matiére, où il puiſſe dépoſer ce qu'il contient d'étranger : mais il faut pour cet effet que ce dont on veut le dépouiller, ſoit de nature à s'attacher plus fortement au filtre qu'aux parties de l'air ; la connoiſſance de cette analogie doit être le fruit d'un grand nombre d'expériences délicates, & d'obſervations bien méditées ; mais l'objet eſt important, & pluſieurs habiles maîtres * ont déja fait à cet égard quelques eſſais qui flatent nos eſpérances : c'eſt en cédant à cette conſidération, que j'ai hazardé de propoſer un inſtrument pour laver l'air, & pour recueillir les matiéres dont il peut être chargé. *Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année* 1741. *p.* 335. *& ſuiv.*

* *Hales, Statiq. des végét. chap. 6. exp. 116. Muſchenbroek, orat. de meth. inſtit. Exp. Phyſ. p. 28.*

IL y auroit encore bien des choſes à dire des propriétés de l'air, & de ſes uſages par rapport à la reſpiration, & à la maniére dont il influe ſur la vie des animaux ; mais ces détails, quelqu'intéreſſans qu'ils ſoient, ne peuvent avoir lieu que dans un traité, où l'on auroit entrepris de faire en-

trer tout ce qui eſt connu touchant ce fluide : les bornes que je me ſuis preſcrites dans ces Leçons, ne me permettant pas de m'étendre davantage ſur cette partie, je paſſe à une autre propriété de l'air, qui eſt encore fort importante, par les applications qu'on en peut faire. Je vais prouver par des faits, que les matiéres les plus combuſtibles ne peuvent s'enflammer que dans un air libre ; & que quand elles le ſont, elles s'éteignent promptement dans le vuide.

XII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut placer ſur la platine d'une machine pneumatique, & ſous un grand récipient, une groſſe chandelle bien allumée, *Fig.* 30. & faire agir la pompe.

EFFETS.

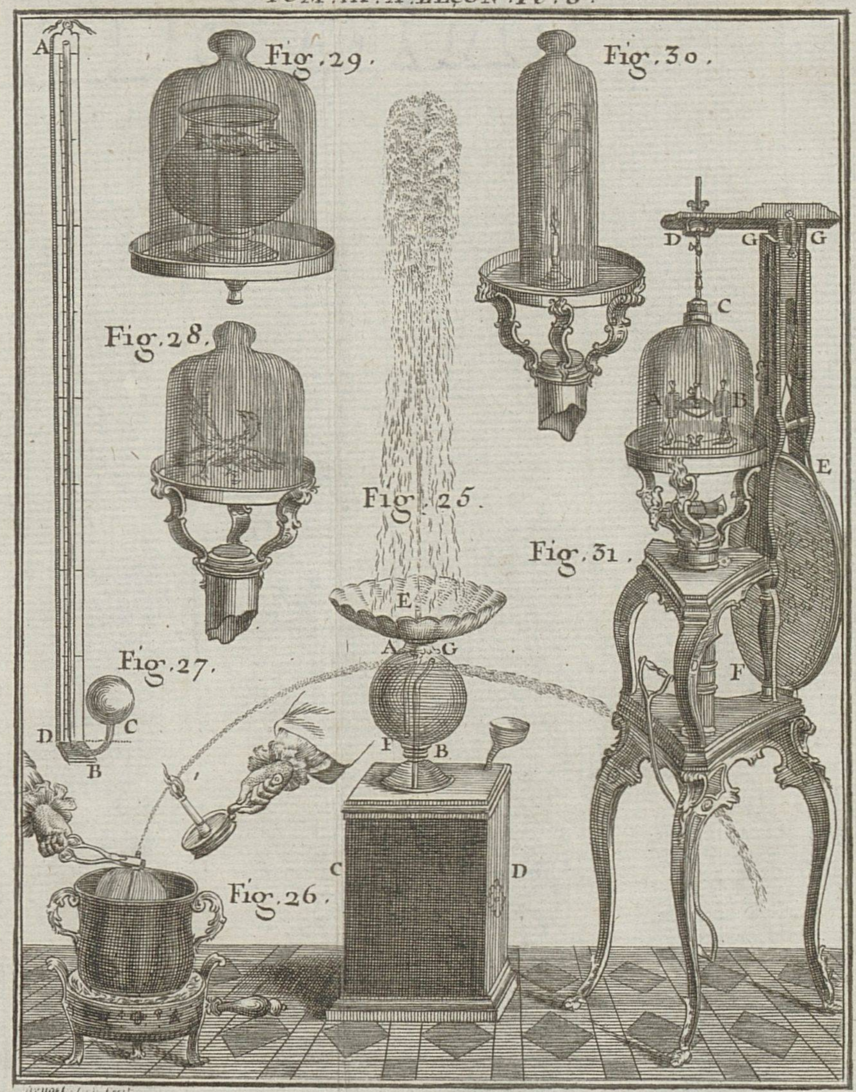
A meſure qu'on raréfie l'air, la flamme diminue de volume, & après quelques coups de piſton, elle s'éteint tout-à-fait.

X. Leçon.

XIII. EXPERIENCE.

Preparation.

A, *B*, *Fig.* 31. ſont deux pierres à fuſil portées par deux petits montans à reſſort, qui ſont établis ſur la platine d'une machine pneumatique, par le moyen d'un petit chaſſis de métal, qui eſt fixé au centre, & dans lequel ils gliſſent pour approcher plus ou moins l'un de l'autre ; *C* eſt une de ces boëtes à cuirs, dont nous avons parlé ci-deſſus, & dont la tige eſt engagée d'une part dans l'axe de la poulie *D*, & porte à ſon autre extrémité, & entre les deux pierres, une rondelle d'acier trempé, imparfaitement arrondie. Lorſqu'on fait tourner la grande roue *E F*, le mouvement ſe communique par les poulies de renvoi *G*, *G*, *D*, juſqu'en *C*, & ſe tranſmet par la tige dans le récipient ; & la rondelle d'acier frottant alors rudement contre les deux pierres qui ſont tranchantes, fait l'office d'un véritable briquet.


Fig. 29.
Fig. 30.
Fig. 28.
Fig. 25.
Fig. 31.
Fig. 27.
Fig. 26.
A
B
C
D
E
F
G
Brunet L. fecit

EFFETS.

Tant que l'air du récipient eſt dans ſon état naturel, le frottement de l'acier contre les pierres fait naître un grand nombre d'étincelles très-brillantes : à meſure que l'air ſe raréfie par l'action de la pompe, ces étincelles deviennent moins nombreuſes & moins éclatantes ; lorſque l'air arrive à ſes derniers dégrés de raréfaction, à peine en apperçoit-on quelques-unes, qui n'ont plus alors qu'une couleur rouge & morne : enfin, quand le vuide eſt auſſi parfait qu'il peut l'être, il n'en paroît plus aucune ; mais elles recommencent à paroître auſſi-tôt que l'on a rendu l'air dans le récipient.

XIV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un grand récipient, *Fig: 32.* garni comme le précédent d'une boëte à cuirs, on établit de la même maniére que les pierres à fuſil, un petit chaſſis de métal, dans lequel ſe meut ſur deux pivots la petite phiole

X. LEÇON.

de verre *H* : on met dans ce petit vaiſſeau quelques grains de poudre à canon ; & au centre de la platine, ſur un morceau de tuile ou de brique, un vaſe fort épais de cuivre rouge *K*, que l'on a fait chauffer juſqu'à rougir : on fait le vuide promptement; & lorſque l'air eſt extrêmement raréfié, en abaiſſant la tige *I*, on appuye ſur le goulot de la phiole qui s'incline, & qui jette la poudre dans le vaſe ardent.

EFFETS.

La poudre, au lieu de s'enflammer & de faire ſon exploſion ordinaire, ſe diſſipe en fumée & ſans éclat ; ou bien, il ne paroît tout au plus qu'une petite flamme bleue & rampante.

EXPLICATIONS.

C'eſt une opinion reçûe en Phyſique, que la flamme conſiſte dans un mouvement de vibration imprimé aux parties du corps combuſtible, qui ſe diſſipent ſous la forme d'un fluide extrêmement ſubtile. Si l'on admet cette ſuppoſition, que nous examinerons, lorſque nous traiterons de la

nature

nature du feu ; on conçoit assez aisément pourquoi les corps ne s'enflamment point dans le vuide, & pourquoi la flamme s'y éteint; car un mouvement de vibration ne peut durer que dans un milieu à ressort, capable d'une réaction qui l'entretienne : ainsi la chandelle s'éteint peu-à-peu, à mesure qu'on raréfie l'air du récipient, parce que le ressort du fluide environnant diminue comme sa densité, & que les vibrations de la flamme n'éprouvent plus assez de réaction de sa part. Par la même raison, la poudre que l'on fait tomber sur du métal ardent, ne produit que de la fumée dans le vuide, ou tout au plus une flamme très-foible, qui périt dans l'instant.

Il est à propos d'avertir cependant, que cette derniére épreuve ne doit se faire qu'avec quelques grains de poudre seulement, comme on l'a marqué dans l'article de la préparation ; car le soufre & le salpêtre brûlés produisent de l'air dans le récipient, & si l'on en employoit une certaine quantité, ce qui tomberoit à la fin dans le vase ardent, seroit infailliblement enflam-

X. LEÇON.

mé, & pourroit éclatter avec danger.

Les étincelles qui naiſſent du choc de l'acier contre des cailloux tranchans, ſont des particules du métal qui ſe détachent de la maſſe par la violence du coup, qui s'échauffent juſqu'à rougir, & le plus ſouvent juſqu'à ſe fondre; c'eſt ce dont il eſt facile de ſe convaincre, en les recevant ſur un papier blanc que l'on examine enſuite avec un microſcope; car tous ces petits morceaux d'acier paroiſſent comme autant de petites boules fort liſſes, ce qui dénote viſiblement, qu'ils ont été mis en fuſion, & qu'ils ſe ſont arrondis, comme toutes les matiéres liquides qui nâgent en petite quantité dans un milieu fluide.

On peut remarquer que pluſieurs de ces étincelles éclatent en l'air, & repréſentent un feu beaucoup plus brillant que les autres; ce ſont celles qui paſſent la fuſion, & qui s'enflamment juſqu'à diſſipation de parties; on les diſtingue aiſément ſur le papier par leur couleur qui eſt plus brune, & parce qu'elles ſont friables comme le mache-fer.

M. Muſchenbroek, après Boyle,

M. Hughens & plusieurs autres Physiciens, a fait une grande quantité d'épreuves sur l'inflammation des corps dans le vuide, dont on peut voir le détail dans ses commentaires sur les expériences de Florence, *pag.* 74 *& suiv.* Cette lecture ne peut être que fort utile à ceux qui s'appliquent à la Physique ; & c'est avec regret que je me dispense de les rapporter ici.

APPLICATIONS.

Puisque la flamme ne peut naître ni s'entretenir que dans un milieu à ressort, on ne doit point être surpris qu'une bougie allumée ou un charbon ardent s'éteigne, lorsqu'on le plonge dans les liqueurs les plus inflammables, comme l'esprit-de-vin & les huiles ; & que l'une ou l'autre mette tout d'un coup le feu à ces mêmes liqueurs, lorsqu'elles sont réduites en vapeurs. Car dans ce dernier état elles sont mêlées avec l'air, & elles forment avec lui un fluide élastique, capable, par conséquent, d'une réaction telle qu'il la faut pour entretenir l'inflammation ; au lieu que

X. LEÇON.

dans l'état de liqueurs elles ſont ſi peu compreſſibles, qu'on doit les regarder comme dépourvûes du degré d'élaſticité néceſſaire.

Le feu brûle beaucoup mieux, & le bois ſe conſume bien plus promptement pendant les grands froids qu'en tout autre tems, apparemment parce que l'air eſt plus denſe, & qu'il a plus de reſſort; & au contraire on remarque qu'un réchaud plein de charbon allumé s'éteint bien-tôt, s'il eſt expoſé aux rayons du ſoleil, ſurtout pendant l'été.

Que doit-on croire de ces lampes ſépulchrales des anciens, qui, ſi l'on en croit quelques Auteurs, brûloient pendant pluſieurs ſiécles ſans s'éteindre? Un feu qui ne conſume point ſon aliment, & qui s'entretient dans des lieux où l'air ne ſe renouvelle point, pleins de vapeurs groſſiéres, eſt une merveille dont il faudroit conſtater l'exiſtence, par des preuves plus poſitives que toutes celles qu'on en a, avant que de faire les frais d'une explication qu'on auroit bien de la peine à rendre plauſible. Car ce n'eſt point aſſez qu'il y ait de l'air autour

des matiéres enflammées, pour entretenir le feu, il faut encore que cet air ſoit libre & qu'il ait une certaine pureté : voilà pourquoi les incendies ceſſent ordinairement, quand ils commencent dans des lieux qu'on peut boucher de toutes parts, ſi d'ailleurs leurs parois ſont capables de réſiſter aux efforts de l'air & des vapeurs qui ſe dilatent au-dedans.

Quoiqu'un air renouvellé entretienne la flamme & anime l'embrâſement, cependant le ſouffle de la bouche ou le vent éteint une bougie, parce qu'il diſſipe les parties de la flamme, & qu'il ſépare le feu de ſon aliment : toutes les fois que cette diſſipation n'a point lieu, l'inflammation, bien loin de ceſſer, ne fait qu'augmenter.

Je dois avertir auſſi, qu'on ne doit tenter les inflammations dans le vuide qu'avec beaucoup de précautions, ſurtout celles qui doivent naître de la fermentation : car comme les liqueurs propres à cet effet ſont d'autant plus actives qu'elles ſont moins gênées par le poids de l'atmoſphére, leur exploſion doit être naturelle-

X. LEÇON.

ment plus violente dans le vuide, qu'ailleurs ; ſoit qu'elles produiſent, en fermentant, une grande quantité d'air dont le reſſort ſe déploye à l'inſtant, comme l'ont penſé quelques Phyſiciens * ; ſoit qu'étant réduites en vapeurs, elles ſe dilatent elles-mêmes par leur propre embrâſement. Quoique je ne déſaprouve pas la premiére de ces deux explications, je crois pourtant qu'on trouvera plus de vraiſemblance dans la derniére, quand j'aurai fait voir ailleurs les prodigieux efforts dont les vapeurs dilatées ſont capables.

* *Slare, dans les leçons de Phyſ. de Cotes, 16. leçon.*

JUSQUES ici nous avons parcouru les principales propriétés de l'air qui environne les corps : mais ce fluide ſe rencontre auſſi dans leur intérieur; il en remplit les vuides; il entre, pour ainſi dire, dans leur compoſition, comme l'eau d'un étang ou d'une riviére pénétre le bois, les pierres qui y ſont plongées, & tient une place dans les concrétions qui s'y forment.

Dans quelque état que ſoient les corps, on y trouve de l'air : les liqueurs en contiennent beaucoup, les corps ſolides, pour la plupart,

en ont encore davantage ; & ce qu'il y a d'admirable, c'eſt que dans ceux-ci ſurtout, la quantité d'air qui s'y trouve renfermé ſurpaſſe aſſez ſouvent 100 ou 150 fois leur volume, quand il eſt dégagé, & qu'il n'eſt plus retenu que par le poids de l'atmoſphére.

X. LEÇON.

On peut ôter l'air d'un corps de quatre maniéres différentes ; 1ment, en le tenant quelque tems dans le vuide ; 2ment, en le faiſant chauffer fortement ; 3ment, en le diviſant & en déſuniſſant ſes parties, par voie de fermentation, de diſſolution, ou de diſtillation ; 4ment enfin, en les faiſant paſſer de l'état de liquidité à celui de ſolidité, comme lorſqu'on fait geler de l'eau. Les deux premiers moyens, & peut-être le quatriéme, ne dégagent que les parties les plus groſſiéres de l'air, je veux dire, celui qui eſt dans les pores les plus ouverts & qui a une diſpoſition plus prochaine à s'étendre & à ſe dilater. Par le troiſiéme procédé, on ſépare les moindres parties, celles qu'une extrême ténuité rend preſqu'inflexibles, & qui ne deviennent ſenſiblement élaſtiques, que quand elles ſe

X. LEÇON.

ſont réunies pluſieurs enſemble, pour former des globules un peu plus groſſiers : car on peut croire que les petites lames qui compoſent une maſſe d'air, ne ſont pas des corps ſimples, mais des petits compoſés d'élémens plus courts, & qu'elles ſont d'autant plus roides qu'elles ſont plus diviſées, comme une lame d'acier perd de ſa flexibilité à meſure qu'on diminue ſa longueur. Il peut ſe faire que l'air qui entre dans la compoſition des mixtes, & qui concourt à la formation de leurs parties intégrantes, ſoit diviſé juſqu'à ſes particules élémentaires, & qu'il ſoit par cela même bien différent de celui qui ne fait que remplir les vuides ou les pores de ces mêmes matiéres.

C'eſt à cet air extrait des corps que Boyle, & après lui M. Hales, ont donné le nom de *Factice ;* non pas qu'ils ayent cru qu'on pût faire de l'air par la converſion d'une matiére en une autre, mais parce que celui qui exiſte dans un corps quelconque, & qui eſt intimement mêlé avec lui, ſe révivifie ordinairement par le ſecours de l'art. On peut voir dans les ouvra-

ges mêmes de ces deux Auteurs *, le détail des expériences qu'ils ont faites ſur cette matiére, & les conſéquences qu'ils en ont tirées. Je me bornerai ici à quelques exemples qui pourront ſuffire, pour donner une idée de cet air factice, des qualités qu'il a, & des effets dont il eſt capable.

* *Boyle, experimentorum Phyſico-Mech. continuat. 2â. Hales, ſtat. des végét. ch. 6. & dans l'appendice, Exp. 2. & ſuiv.*

XV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut mettre dans un gobelet de verre, avec de l'eau claire, un morceau de bois ou de pierre, une noix, un œuf, ou tout autre corps ſolide & fort poreux, de maniére qu'il ſoit entiérement plongé ; ce qui ſe fera facilement par le moyen d'un plomb qu'on y joindra, ſi les matiéres qu'on doit plonger ſont plus légéres que l'eau. On couvre le tout d'un récipient ſur la platine de la machine pneumatique, & l'on fait agir la pompe pour raréfier l'air. *Fig.* 33.

EFFETS.

A chaque coup de piſton, on peut

X. Leçon.

remarquer qu'il ſort une grande quantité de bulles d'air du corps plongé; & lorſqu'on l'ouvre après cette épreuve, on le trouve pénétré & rempli d'eau, plus qu'il ne le pourroit être par une ſimple immerſion.

Explications.

L'air qui eſt renfermé dans les pores du bois, de la pierre, &c. eſt pour le moins auſſi denſe que celui de l'atmoſphére dont il a coutume de ſoutenir le poids : quand on ſupprime cette preſſion, ou qu'on la diminue par l'action de la pompe, cet air ſe dilate en vertu de ſon reſſort, ſon volume augmente, & ne pouvant plus ſe loger dans ces petits eſpaces où il eſt, il s'échappe dans l'eau, & devient viſible ſous la forme de petits globules, qui s'élévent promptement à cauſe de leur légéreté reſpective.

L'air qui paſſe du corps ſolide dans l'eau qui l'entoure, ſe met en petites boules, & cet effet arrive en général à tout fluide qui ſe trouve plongé dans un autre fluide avec lequel il a peine à ſe mêler ; apparemment parce que ſes parties également

pressées de toutes parts tendent à un centre commun. Je sçais bien qu'on objecte contre cette raison, que les gouttes d'eau ou de mercure demeurent arrondies dans le vuide de Boyle ; mais je sçais bien aussi que ce vuide n'en est point un à proprement parler, & que tout ce qu'on peut prétendre, c'est que la pression y soit moindre qu'ailleurs : mais l'effet dont il s'agit dépend bien moins d'une pression plus ou moins grande, que d'une pression égale de toute part, qu'on ne sçauroit nier dans un vaisseau où l'on sçait que l'air grossier n'est que raréfié, & dans lequel tout le monde convient qu'il y a toujours un fluide, indépendamment de celui qu'on fait sortir par le moyen de la pompe.

Lorsqu'on fait rentrer l'air dans le récipient, l'eau du gobelet se trouve plus comprimée qu'elle ne l'étoit dans l'air raréfié ; elle s'appuye par conséquent davantage sur toute la superficie du corps plongé. L'air qui a été raréfié dans les pores de celui-ci obéissant à cette nouvelle pression, se resserre dans un moindre espace,

X. LEÇON.

& l'eau va occuper les vuides qu'il a laissés. Voilà pourquoi ces corps étant ouverts après l'expérience, paroissent pénétrés ou remplis d'eau.

XVI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On place, sous le récipient d'une machine pneumatique, un gobelet de verre plus long que large, & rempli jusqu'aux deux tiers de bierre, de lait, d'esprit-de-vin, ou d'eau un peu tiéde, & l'on fait agir la pompe.

EFFETS.

A mesure que l'air du récipient se raréfie, celui qui est contenu dans la liqueur se dégage, & s'éléve à la surface en forme de bulles qui augmentent de plus en plus en nombre & en grandeur : celles de l'esprit-de-vin & de l'eau font une ébullition qui dure quelque tems ; & si l'on continue de faire le vuide, cet effet cesse enfin, & l'on ne voit plus sortir d'air : la bierre & le lait s'élévent en mousse, & se répandent hors du vaisseau. *Voyez la Fig.* 34.

EXPLICATIONS.

C'eſt encore en ſupprimant la preſſion de l'air extérieur qu'on donne lieu à celui qui eſt répandu dans la liqueur de ſe dégager ; car n'étant plus chargé comme auparavant, il acquiert un plus grand volume, & ſa légéreté reſpective plus puiſſante alors que le frottement & les autres cauſes qui tendent à le retenir, ne manque pas de l'élever vers la ſurface.

Plus la liqueur eſt facile à diviſer, plus les bulles d'air s'élévent promptement, plus elles s'aggrandiſſent auſſi, parce qu'elles trouvent moins de réſiſtance à vaincre, pour s'étendre : c'eſt pourquoi lorſque le récipient eſt évacué à un certain point, l'eſprit-de-vin & l'eau tiéde qui ſont très-fluides, laiſſent tout d'un coup échapper leur air qui les ſouléve en gros bouillons, La bierre & le lait au contraire étant des liqueurs viſqueuſes, ne ſe diviſent que difficilement : les bulles d'air qui s'y forment, demeurent enveloppées de véſicules, & ne s'élévent que lentement ; & comme ces véſicules ne ſont autre

X. LEÇON.

chose que les parties mêmes de la liqueur qui ont peine à se séparer, les bulles d'air, en les emportant, vuident le vaisseau.

APPLICATIONS.

Bien des personnes s'imaginent que tous les corps généralement se conservent très-long-tems dans le vuide; mais il y a beaucoup à rabattre de ce préjugé. Il est vrai que ceux qui sont de nature à se décomposer par l'évaporation d'une partie de leur substance, ou à se corrompre par l'humidité qui pourroit les pénétrer, périssent ordinairement moins vîte dans le vuide que dans l'air libre, parce qu'ils ne sont plus entourés d'un fluide qui fait, comme nous l'avons dit*, la fonction d'une éponge ou d'un absorbant, & qui est toujours chargé de quelques vapeurs : mais il n'en est point ainsi de ceux qui portent en eux-mêmes un principe de fermentation ; car, 1ment, en perdant l'air qui remplit leurs pores, le mouvement intestin de leurs parties n'en devient que plus libre ; 2ment, cette liberté augmente encore par la suppression du poids ou

* *Tom. II. pag. 121. & suiv.*

du reſſort de l'air extérieur ; ce qui me fait croire que les matiéres de cette derniére eſpéce ſe conſerveroient mieux dans un air comprimé que dans le vuide.

Le vin de Bourgogne qui a paſſé les Alpes n'a pas le même corps que celui qu'on boit en France ; il paroît moins coloré & plus pétillant : ne feroit-ce point parce qu'il auroit un peu travaillé en paſſant ſur les hautes montagnes où la preſſion de l'atmoſphére étant moins grande qu'elle ne l'eſt dans la plaine, a pû donner lieu à quelque commencement de fermentation ? Ce qui me le feroit ſoupçonner, c'eſt qu'ayant tenu dans un air un peu raréfié, & pendant quelques jours, une bouteille de vin, au bouchon de laquelle j'avois pratiqué un petit trou, il me parut un peu défait, & à-peu-près ſemblable à celui que j'avois goûté en Piémont. Je dois ajoûter cependant, que pluſieurs perſonnes dignes de foi m'ont aſſûré, que le vin de Bourgogne qui va par mer en Italie, eſt ſujet à de pareils changemens : le même effet peut être produit par différentes cauſes.

X. Leçon.

L'air qui se dégage d'une liqueur en augmente nécessairement le volume jusqu'à ce qu'il en soit entiérement sorti, parce que les globules insensibles qui étoient logés dans les pores, se réunissant plusieurs ensemble, forment des masses plus grandes qui occupent de nouvelles places dans la liqueur : de même que si l'eau qu'on fait entrer, comme on sçait, sans difficulté dans un verre plein de cendres ou de sable, se convertissoit tout d'un coup en plusieurs petits glaçons de la grosseur d'une tête d'épingle, on conçoit bien que les deux matiéres ne pourroient plus être contenues dans le même vase. L'air se dégage aussi dans les liqueurs qui fermentent, & l'effort qu'il fait pour en augmenter le volume, fait souvent casser les vaisseaux qui les contiennent.

Il est inutile de proposer ici aucune expérience, pour prouver qu'on peut faire sortir l'air d'une matiére, en la faisant chauffer fortement; nous avons tous les jours sous les yeux assez d'exemples de cette seconde méthode, dans la préparation de nos alimens ;

alimens ; on entend, & l'on voit même ſortir l'air des viandes & des fruits qu'on fait cuire, du bois verd qu'on met au feu, de l'eau, & des autres liqueurs que l'on fait bouillir. Les premiers bouillons doivent être attribués aux parties les plus groſſiéres de l'air, qui, dilatées par la chaleur dans un fluide qui ſe dilate lui-même, augmentent en volume, & ſoulévent avec violence ce qui s'oppoſe à leur extenſion & à leur aſcenſion. Je dis les premiers bouillons ; car je ferai voir, en parlant du feu & de ſes effets, qu'une liqueur qui continue de bouillir juſqu'à ce qu'elle ſoit entiérement évaporée, ne le fait pas en vertu d'une quantité d'air aſſez conſidérable pour fournir juſqu'à la fin. Mais quand l'air ſort d'une liqueur que l'on fait chauffer, on voit à-peu-près le même effet que dans le vuide; les bulles qui ſe forment ont d'autant plus de peine à ſe dégager, que la matiére qui les enveloppe eſt plus difficile à rompre ou à étendre : elles ſe dégagent donc & s'élevent plus lentement dans du lait que dans de l'eau, & l'action du feu qui tend à les

X. LEÇON.

dilater agit plus long-tems ſur chacune, & en même tems ſur un plus grand nombre ; c'eſt pourquoi ces ſortes de liqueurs, le beurre, les réſines & les gommes fondues, ſe gonflent peu-à-peu, & ſurprennent, par des effervescences ſubites & aſſez ſouvent dangereuſes, ceux qui les font chauffer avec trop peu d'attention.

A-peu-près comme l'eau ſort d'une éponge mouillée que l'on preſſe, l'air ſe dégage de toutes les matiéres dont les parties ſe rapprochent & ſe condenſent fortement : on s'en apperçoit rarement dans les ſolides, parce qu'étant communément plongés dans l'air de l'atmoſphére, celui qui ſort de leur intérieur ſe mêle immédiatement avec un fluide ſemblable à lui-même, & qui empêche par cette raiſon, qu'on ne le diſtingue : ce n'eſt qu'en preſſant ces corps dans l'eau, ou dans quelqu'autre liqueur, qu'on peut s'aſſurer de l'effet dont il eſt queſtion.

Les liquides qui ſe gélent, ſe déſaiſiſſent auſſi de l'air qu'ils contiennent à meſure que leurs parties ſe rapprochent ; & quand cet air qui étoit dif-

ſéminé dans les pores en particules inſenſibles, s'en trouve exclu, il ſe raſſemble en pluſieurs bulles, & prend différentes formes dans la maſſe, s'il s'y trouve renfermé & retenu par les progrès trop rapides de la congélation. Je pourrois appeller en preuves les phénoménes de la glace; mais il ſera tems d'en faire mention lorſque je traiterai de l'eau & de ſes différens états.

Le dernier procédé, & celui qui eſt peut-être le plus efficace de tous, pour ſéparer l'air des matiéres avec leſquelles il ſe trouve mêlé, c'eſt la diviſion de leurs parties, ſur-tout ſi cette diviſion va juſqu'à les décompoſer, comme il arrive ordinairement lorſqu'on fait putréfier, fermenter, diſtiller, ou brûler les corps mixtes.

Que la quantité d'air que l'on tire ainſi, égale preſque le volume des corps d'où il ſort, c'eſt une merveille que l'on n'a dû croire que d'après l'expérience; mais que cet air extrait, & ſoumis au poids de l'atmoſphére, ſurpaſſe un grand nombre de fois la grandeur de ces mêmes corps qui le

X. LEÇON.

contenoient, c'eſt ce qu'on ne peut apprendre ſans étonnement ; & l'on ſeroit tenté d'en douter, ſi les Auteurs les plus accrédités, de qui nous tenons cette découverre, n'avoient appuyé leurs témoignages ſur un détail bien circonſtancié de leurs épreuves. Celles de MM. Mariotte & Hales m'ont paru les plus déciſives ; c'eſt dans leurs écrits que j'ai puiſé les preuves ſuivantes : le lecteur qui prendra la peine de les chercher dans leurs ſources, y trouvera un grand nombre de faits, plus curieux les uns que les autres, & qui établiſſent de concert la doctrine que je viens d'expoſer.

XVII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig*. 35. repréſente une taſſe de métal fort mince, au fond de laquelle on a pratiqué un enfoncement que l'on emplit d'une groſſe goute d'eau; on verſe enſuite de l'huile d'olives, juſqu'à la hauteur d'un travers de doigt, & l'on couvre la goutte d'eau d'un petit vaſe de verre qui a la for-

me & à-peu-près la grandeur d'un dé à coudre, ayant attention qu'il ſoit plein d'huile, ce qu'il eſt aiſé de faire en l'inclinant dans la taſſe avant que de le placer debout.

X. LEÇON.

EFFETS.

Si l'on tient la taſſe ſur une bougie ou ſur une lampe allumée, pour faire chauffer la goutte d'eau; 1o. Il s'en éléve peu-à-peu une grande quantité de petites bulles d'air, qui, lorſque tout eſt refroidi, occupent dans le vaſe de verre, un eſpace plus grand (*a*) que le volume de la goutte d'eau d'où elles ſont ſorties: 2o. l'huile qui reſte dans le petit vaſe de verre, perd ſa tranſparence, en ſe refroidiſſant.

EXPLICATIONS.

A meſure que la goutte d'eau s'échauffe, les parties s'écartent un peu les unes des autres; les pores ou petits intervalles qui ſont entr'elles, ſe dilatent, les particules d'air qui ſe trouvoient retenues deviennent plus libres, & leur légéreté reſpective

(*a*) M. Mariotte dit 8 *ou* 10 *fois plus grand*; cependant quoique j'aye répété cette expérience bien des fois, & avec ſoin, je n'ai jamais trouvé tant d'air au haut du petit vaſe.

X. LEÇON.

ſuffit alors pour les dégager entiérement, & pour les élever dans la partie ſupérieure du petit vaſe de verre. Mais ce qui aide encore davantage cette ſéparation, c'eſt que la même chaleur qui dilate la goutte d'eau, dilate auſſi les petites bulles d'air, & leur volume conſidérablement augmenté les rend d'autant plus légéres, & par conſéquent d'autant plus propres à s'élever au-deſſus de l'eau & de l'huile. On peut ajouter encore que la liquidité de l'eau & de l'huile augmente par l'action du feu, que le frottement & la viſcoſité diminuent d'autant; ce qui donne lieu aux bulles d'air de ſe dégager & de s'élever plus facilement.

La colonne d'huile qui couvre la goutte d'eau devient opaque, parce que la chaleur y éléve la vapeur de l'eau, qui ſe mêle aux parties de l'huile, & qui forme avec elles des molécules dont l'aſſemblage devient moins perméable à la lumiére : ſoit que les pores de ce liquide composé ſoient moins directs qu'ils ne le ſont dans l'eau & dans l'huile ſéparément ; ſoit que ſes parties deviennent trop groſſiéres. Cette derniere

raiſon (qui n'exclut point l'autre) paroît d'autant plus probable, que cette même huile chargée d'eau & devenue opaque, reprend preſque ſa premiére tranſparence lorſqu'on la fait chauffer de nouveau, ſans doute, parce qu'alors les parties atténuées par l'action du feu laiſſent à la lumiére un paſſage plus libre.

XVIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La préparation de cette expérience ſe fait à-peu-près comme celle de la précédenre, excepté ſeulement, qu'on employe des vaſes plus grands, & qu'au lieu d'une goutte d'eau au fond de l'huile, on met dans de l'eau tiéde un petit cylindre de ſucre commun, égal à la partie *AB*, priſe intérieurement. *Fig.* 35.

EFFETS.

A meſure que le ſucre ſe fond dans l'eau, on en voit ſortir des bulles d'air qui s'élévent vers la partie ſupérieure du vaiſſeau ; & lorſque la diſſolution eſt faite, la quantité d'air qui s'eſt

X. LEÇON.

élevée égale assez souvent les $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{3}{4}$ de l'espace *AB*.

EXPLICATIONS.

L'eau chaude, en pénétrant le sucre, désunit ses parties, & les subdivise ; alors les petites bulles d'air qu'elles renfermoient entr'elles, étant comme isolées, s'élévent à travers de l'eau qui est toujours beaucoup plus pésante. La quantité de ces particules d'air varie selon la qualité du sucre, & la solution plus ou moins parfaite de sa masse : mais on peut toujours comparer le volume d'air qui est sorti, à celui du sucre qu'on a fait fondre, puisque l'espace *A B* sert de mesure commune à l'un & à l'autre.

XIX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut joindre la cornue *AB*, *Fig.* 36. dans laquelle on aura mis quelque matiére à distiller, au matras *AC*, avec quelque espéce de lut qui ne se fonde point à une médiocre chaleur, & qui ne se dissolve point non plus par une légére humidité. Ces deux vaisseaux étant

étant ainsi joints, il faut faire entrer dans le col du dernier une branche du scyphon *E DF*, par un trou pratiqué au fond du vaisseau; on plonge ensuite le matras & le scyphon dans l'eau, afin que le premier s'emplisse par *D*, jusqu'à la hauteur *F*; ce qui se fait aisément par le moyen du scyphon qui permet à l'air de s'échapper: on ôte ensuite ce scyphon, & l'eau demeure suspendue à la hauteur *F*, par la pression de l'atmosphére qui agit sur celle du bacquet. Enfin l'on chauffe la cornue, en la posant sur un fourneau disposé à une hauteur convenable. Si les matiéres que l'on distille rendent de l'air, on s'en apperçoit, parce que le volume de celui qui est renfermé en *A F*, augmente; si au contraire elles en absorbent, comme il paroît en certains cas, on le voit aussi par la diminution de ce même volume d'air. Et si l'on veut comparer la quantité d'air rendu ou absorbé, à celle des matiéres qu'on a mises dans la cornue, on le peut facilement en réduisant à une mesure connue, comme au pouce cubique, par exemple, ce qu'on met dans la cornue: car

X. LEÇON.

après la diſtillation, on pourra voir combien il faut de pouces cubiques d'eau pour remplir l'eſpace occupé par l'air, en plus au-deſſous, ou en moins au-deſſus de *F*.

Mais ce volume d'air que l'on veut meſurer, ne doit l'être que quand tout eſt refroidi au même dégré que l'étoit celui de la partie *AF*, au moment que l'on a commencé l'expérience; car on ſçait combien quelques dégrés de chaleur de plus ou de moins peuvent faire varier les dimenſions de ce fluide; & pour n'avoir point d'erreur conſidérable à ſoupçonner à cet égard, il faudroit y avoir enfermé un petit thermométre très ſenſible.

Une autre attention que l'on doit avoir encore, ſi l'on veut procéder avec exactitude, c'eſt de conſulter la hauteur du barométre, au commencement & à la fin de l'expérience, pour s'aſſurer ſi le poids de l'atmoſphére n'a point varié pendant l'opération: car il eſt certain que le volume d'air contenu dans le col du matras doit augmenter ou diminuer, ſelon que l'eau y ſera pouſſée plus ou moins haut, par la preſſion de l'air

extérieur ſur la ſurface du bacquet.

X. LEÇON.

Enfin s'il s'agiſſoit d'une exactitude ſcrupuleuſe, on devroit conſidérer encore, que la colonne d'eau qui demeure au-deſſus du niveau, ou qui eſt portée au-deſſous, par la quantité plus ou moins grande de l'air qui occupe le col du matras, empêche que cet air ne ſoit jamais d'une denſité parfaitement égale à celle de l'air extérieur ; mais heureuſement dans la plupart de ces épreuves, on peut ſe contenter d'un à-peu-près ; & le Phyſicien doit ſouvent ſe mettre au-deſſus des minucies, pour n'être point découragé dans ſes recherches.

EFFETS.

Par des procédés à-peu-près ſemblables à celui que je viens de décrire, M. Hales * ayant éprouvé toutes ſortes de matiéres animales, végétales, & minérales, ſolides & liquides, a trouvé, par exemple, qu'un pouce cubique de ſang de cochon, diſtillé juſqu'aux ſcories ſéches, produiſoit 33 pouces cubiques d'air.

* *Stat. des Végét. ch. 6.*

Que la moitié d'un pouce cubique de la pointe des cornes d'un daim,

X. LEÇON.

donnoit 117 pouces cubiques d'air, ce qui faisoit un volume 234 fois aussi grand que celui de la matiére distillée.

Que d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, il en sortoit 128 pouces cubiques d'air.

Que d'un pouce cubique de terre vierge, il vint à la distillation 43 fois autant d'air.

Le même Auteur trouva que l'eau forte, le soufre, & plusieurs autres matiéres, bien loin de rendre de l'air, en absorboient ; c'est-à-dire, qu'après la distillation, le volume d'air contenu en *A F*, se trouvoit moins grand qu'il n'étoit avant l'expérience

EXPLICATIONS.

Lorsqu'on distille une matiére, l'action du feu divise ses parties, les réduit, & les éléve en vapeurs. Les particules d'air qui se trouvent dans la masse demeurant isolées par sa division, & par son évaporation, s'unissent avec le volume d'air qui est renfermé dans la cornue & dans le col du matras, & ce volume est d'autant augmenté : de-là il arrive que la

furface de l'eau baiffe communément au-deffous de *F*.

Mais fi la matiére que l'on diftille eft de telle nature que l'air s'uniffe à elle plus facilement & plus fortement qu'il ne peut s'unir avec d'autre air, non feulement cette matiére ne fe défaifit point des particules d'air qu'elle contient ; mais acquérant plus de furface par fa divifion, elle s'approprie encore de nouvelles parties d'air en paffant par l'efpace *A F*; & l'eau s'éléve d'autant, pour occuper la place de l'air abforbé.

Ce que l'on a de la peine à comprendre, c'eft qu'il puiffe fe loger une fi grande quantité d'air dans certaines matiéres, fans qu'il y paroiffe comprimé, autant qu'il faudroit qu'il le fût, fi l'on vouloit le réduire à un auffi petit volume, lorfqu'une fois il eft dégagé ; car quelle force ne faudroit-il pas pour reftraindre dans l'efpace d'un demi-pouce cubique 234 fois autant d'air femblable à celui de l'atmofphére ?

Ce phénoméne nous apprend que l'air intimement mêlé à d'autres matiéres, y eft dans un état tout diffé-

X. LEÇON.

rent de celui où nous le voyons lorſqu'il en eſt dégagé ; quel eſt donc cet état de l'air dans l'intérieur des corps ? & comment en reçoit-il un autre lorſqu'il ſe dégage ?

On peut ſuppoſer, comme l'ont fait pluſieurs habiles Phyſiciens * de nos jours, que les parties de l'air, lorſqu'il eſt intimement mêlé à quelqu'autre matiére, ne ſe touchent plus, & qu'elles ſont immédiatement appliquées aux parties même du corps qui les contient, comme pourroient être de petits poils ou des filets de coton qui envelopperoient, par exemple, des grains de ſable, ou qui ſeroient logés ſéparément dans les intervalles qui ſe trouveroient à remplir entre ces mêmes grains raſſemblés en une maſſe : car quoique pluſieurs brins de coton enſemble forment ordinairement un petit flocon flexible, & qui occupe un eſpace aſſez ſenſible, à cauſe de tous les vuides qui font partie de ſon volume ; on conçoit bien cependant qu'il en occuperoit incomparablement moins par ſa matiére propre, & ſi ſes vuides remplis d'une autre ſubſtance ne

* *M. de Mairan, Diſſertation ſur la glace.*
Mariotte, Eſſais ſur la nature & les propriétés de l'air.

contribuoient plus à ſa grandeur. On doit convenir auſſi que ſa flexibilité, & par conſéquent ſon reſſort, ſeroit nulle, ſi chacun de ces petits filets étoit ſoutenu par un corps dur, comme il arriveroit infailliblement, ſi l'eſpace de l'un à l'autre étoit rempli par une matiére ſolide.

Cette hypothéſe eſt d'autant plus vraiſemblable, que l'air ne paroît contribuer ni à la compreſſibilité des corps, ni à leur dilatabilité : l'eſprit de vin des thermométres étant purgé d'air *, n'en paroît ni plus ni moins ſenſible à l'augmentation du froid ou du chaud : & les corps qu'on a tenus dans le vuide, n'en ſont pas moins compreſſibles, quoiqu'on en ait vu ſortir une quantité d'air aſſez conſidérable. L'air dans l'intérieur des corps, eſt donc, comme dit M. Hales, dans un état de fixité ; & lors même qu'il s'en dégage, il n'acquiert point de reſſort, s'il emporte avec lui quelque ſubſtance étrangére qui l'empêche de ſe joindre à d'autre air, pour former de petits globules : car ce n'eſt que dans ce dernier état, qu'il peut être flexible & élaſtique.

* *Voyez les Mém. de l'Acad. pour l'année* 1731. p. 267.

X. LEÇON.

Ce raisonnement, je l'avoue, est fondé sur des faits incontestables; mais il en est d'autres, qui ne sont ni moins certains ni moins connus, & qui nous portent à raisonner tout autrement; lorsqu'une matiére passe dans le vuide, ou que l'action du feu ou d'un dissolvant diminue, ou fait cesser la cohérence de ses parties, on voit aussi-tôt l'air s'en dégager; ne devons-nous pas penser que cet air étoit dans l'état d'un ressort tendu, & qu'il n'attendoit pour se déployer que la suppression des obstacles qui l'en empêchoient?

Voici ce que l'on peut dire pour concilier ces phénoménes qui semblent se contredire : l'air, dans la plûpart des corps, se trouve sous deux états differens; les plus grands vuides, ces pores qui communiquent ensemble, le contiennent en globules, ou pour mieux dire, en petites colonnes que le poids de l'atmosphére a condensées, & qui par la continuité de leurs parties ont conservé la faculté de s'étendre & de se porter en dehors lorsque la pression extérieure vient à cesser; l'autre air beaucoup

plus divisé, ne remplit que des pores isolés plus petits, & la matiére qui l'environne a plus de cohérence qu'il n'a d'élasticité. Pour dégager le premier, il suffit ou d'augmenter fortement son ressort par la chaleur, ou de lever l'obstacle qui le tient tendu : ces deux moyens sont faciles ; 1rement, parce que le ressort de l'air s'anime d'autant mieux que son volume est plus grand ; 2dement, parce que les pores qui contiennent ces petites colonnes sont ouverts jusqu'à la surface. Il n'en est pas de même de l'autre air, il faut pour l'extraire, diviser le corps jusques dans ses moindres parties ; & comme on suppose ce fluide réduit presque à ses premiers élémens, on ne doit rien attendre de son ressort, pour aider cette séparation.

X. LEÇON.

A l'aide de cette supposition, je conçois comment l'air ne rend ni plus dilatables, ni plus compressibles les matiéres avec lesquelles il est mêlé, quoiqu'il y jouisse de son élasticité ; car 1°. si les petits globules contigus les uns aux autres dans toute l'étendue de chaque pore, s'y trou-

X. LEÇON.

vent contenus comme dans une gaine, dont les parties ſolides ſe ſoutiennent mutuellement, ce canal comprimé par dehors, n'empruntera rien de la fléxibilité de l'air qu'il renferme, & par conſéquent le corps entier qui n'eſt qu'un aſſemblage de ces tuyaux, ne ſera ni plus ni moins compreſſible, ſoit que ſes pores ſoient remplis d'air, ſoit qu'ils en ſoient vuides. 2°. Si ces colonnes d'air moulées dans les pores ſont composées de globules fort petits, comme on le doit ſuppoſer, l'action modérée du feu ne pourra les dilater que très-peu, & leur accroiſſement n'excédera pas ſenſiblement celui des pores qui ſe dilatent auſſi par le même degré de chaleur : ainſi la maſſe totale ne ſera ni plus ni moins dilatable, ſoit qu'elle contienne de l'air élaſtique, ſoit qu'elle n'en contienne pas.

Mais cet air même le plus intimement mêlé, celui que nous regardons comme n'ayant point de reſſort, parce qu'il eſt extrêmement diviſé, n'en a-t-il point en effet ? Ses parties au lieu d'être devenues trop courtes pour être flexibles, ne ſeroient-elles

pas plutôt repliées ſur elles-mêmes autant qu'il eſt poſſible qu'elles le ſoient ? & leur inflexibilité ne viendroit-elle pas de ce qu'elles ne pourroient plus s'approcher davantage, à-peu-près comme un fil roulé en peloton, devient un corps dur qu'on a peine à comprimer, & qui, lorſqu'il ſe développe, occupe une place incomparablement plus grande. En m'arrêtant à cette idée, j'apperçois la raiſon pour laquelle cet air extrait des corps prend un volume ſi conſidérable qu'il excéde deux ou trois cent fois celui dont il faiſoit partie. La nature a pu ſe ménager des moyens pour reſtraindre ainſi les particules d'air qu'elle fait entrer dans la compoſition des mixtes ; & la cohérence de ces mêmes corps, quelle qu'en ſoit la cauſe, eſt une puiſſance qui peut ſuffire pour réſiſter à ſa réaction.

X. LEÇON.

Une raiſon que l'on peut ajouter encore pour expliquer cette prodigieuſe extenſion de l'air extrait, c'eſt que cet air n'eſt point pur, c'eſt un fluide compoſé, qui tient beaucoup des matiéres d'où il ſort ; je ne veux pour preuves que les effets dont il eſt

X. LEÇON.

capable : celui que l'on tire de la pâte fermentée, des fruits, & de la plûpart des végétaux, éteint le feu, suffoque les animaux, & se fait sentir par une odeur pénétrante * ; il est donc évident que cet air est chargé d'une vapeur abondante, qui fait partie de son volume, & l'on sçait d'ailleurs que toutes les substances qui s'évaporent, s'étendent prodigieusement ; ainsi les cent vingt-huit pouces cubiques d'air qui sortent d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, se réduiroient vraisemblablement à une quantité bien moins grande, si l'on en séparoit ce qu'ils contiennent d'étranger.

* *Boyle, Exp. Phys. Mech. continuat.* 2. *Hales, Stat. des végét.* p. 152.

APPLICATIONS.

Les alimens tant solides que liquides qui entrent dans l'estomac, s'y décomposent par la digestion ; ils se désaisissent par conséquent de l'air qu'ils contiennent ; cet air ainsi dégagé se rassemble en bulles, & prend un volume beaucoup plus considérable ; non seulement parce qu'il se développe & s'étend lorsqu'il est libre, comme on l'a vû par les expé-

riences précédentes ; mais encore parce qu'il éprouve un dégré de chaleur assez grand, qui dilate ce fluide d'autant plus que sa masse est plus ample.

X. LEÇON.

Si l'air qui se dégage ainsi des alimens dans l'estomac, ne trouve point d'issue libre pour en sortir, il presse & distend les parties qui le retiennent, & ses efforts font naître quelquefois des douleurs assez vives, que l'on nomme *coliques de vents*.

Lorsque rien ne s'oppose à son passage, il sort par la bouche, & cause ces rapports le plus souvent désagréables & plus ou moins fréquens, selon la quantité des alimens qu'on a pris, leurs qualités, leurs préparations, ou la disposition actuelle de l'estomac qui les digére.

Ces rapports déplaisent presque toujours, quoique l'on ait mangé ou bû des substances qui soient par elles-mêmes d'une odeur & d'un goût fort agréables : c'est que la digestion les décompose, & que l'air qui s'en exhale n'en emporte que des extraits : or dans les alimens les plus sains, il y a des parties, qui lorsqu'elles sont

X. Leçon.

ſéparées des autres, ſont capables d'affecter nos ſens d'une maniere déplaiſante ou même dangereuſe. Le pain & la pâte de froment, le raiſin & les autres fruits, &c. ſont du goût de tout le monde, & ne nuiſent point au commun des hommes; cependant l'air qui en ſort, quand on les fait fermenter, eſt infect & mortel.

Un eſtomac ſurchargé d'alimens, eſt plus incommodé qu'un autre de ces ſortes d'exhalaiſons; on en voit aſſez la raiſon. Mais la qualité & la préparation ſont deux choſes qui ont beaucoup de part à cet effet. En général les liqueurs ſpiritueuſes & fermentées comme le vin, la bierre, &c. & tous les alimens cruds, portent avec eux une très-grande quantité d'air; & l'on doit s'attendre d'en être incommodé, ſi l'on n'en uſe avec modération.

Un uſage modéré des alimens ne garantit pas même toujours des rapports d'eſtomac; on voit des perſonnes précautionnées & ſobres, qui s'en plaignent beaucoup. C'eſt qu'alors il y a ſans doute quelqu'humeur vicieuſe qui occaſionne une mauvaiſe

digeſtion. Suivant nos principes, cette digeſtion eſt mauvaiſe par excès ; car puiſqu'elle rend une plus grande quantité d'air, il paroît que les alimens ſont plus diviſés ; ainſi en pareil cas, on pourroit dire peut-être que l'on digére trop ; mais ceci paſſe les bornes de mon deſſein, c'eſt une queſtion que je ſoumets à l'examen de la Faculté.

En certains tems de l'année le vin & la bierre travaillent dans les tonneaux & dans les bouteilles ; c'eſt-à-dire, qu'il s'y fait une légere fermentation, ſur-tout ſi ces liqueurs ſont remuées ou placées dans des lieux qui ne ſoient pas aſſez frais. Ces mouvemens inteſtins ne manquent point de donner lieu aux particules d'air de ſe dégager & de monter à la ſurface ; & comme il lui faut alors beaucoup plus de place qu'il n'en occupoit lorſqu'il étoit diviſé & logé dans les pores, il ſort avec impétuoſité, dès qu'on débouche les vaiſſeaux, & ſes efforts vont même juſqu'à les faire créver, lorſqu'on néglige de lui ouvrir un paſſage.

Dans les laboratoires de chymie,

X. LEÇON.

les artiſtes ont grand ſoin de laiſſer une iſſue à l'air, quand ils lutent leurs vaiſſeaux ; l'uſage leur a appris que ſans cette précaution, les ballons ſont en danger de crever avec éclat : quand cet accident arrive, on a coutume de s'en prendre à la maſſe d'air qu'on a laiſſé enfermée dans le récipient, & que la chaleur dilate ; & en effet cette cauſe y contribue : mais la rupture des vaiſſeaux vient principalement de la quantité d'air qui ſort de la plûpart des matiéres qu'on diſtille ; car pour l'ordinaire, le ballon eſt capable de réſiſter aux efforts de l'air qu'on y renferme, & qui n'y ſouffre qu'un degré de chaleur aſſez médiocre.

Quand on enfonce une canne ou un bâton dans la vaſe au bord d'une riviére ou d'un étang, on voit communément beaucoup de bulles d'air s'élever à la ſurface de l'eau ; cet air vient ſans doute des feuilles, des branches d'arbres, des plantes & autres végétaux qui ſe ſont amaſſés & pourris au fond ; il demeure engagé dans la boue juſqu'à ce qu'on lui ouvre une iſſue.

S I

X.
LEÇON.

SI l'on fait ſortir l'air d'une matiére ſans déſunir les parties de ſa maſſe, en la plaçant, par exemple, dans le vuide ; dès qu'on l'expoſe enſuite à l'air libre, elle reprend ce qu'on lui a ôté, à-peu-près comme une éponge qui ſe remplit toujours d'eau, toutes les fois qu'on l'y plonge après l'avoir preſſée. M. Mariotte * s'eſt aſſûré du fait par une expérience auſſi ſimple qu'ingénieuſe. Il purgea d'air une certaine quantité d'eau, en la faiſant bouillir ; & en la mettant enſuite quelque tems dans le vuide, il en remplit une phiole qu'il renverſa dans un vaſe plein d'eau, ſans la boucher, en obſervant de faire monter dans le haut une bulle d'air de la groſſeur d'une aveline ; peu-à-peu il vit diminuer cet air, qui diſparut enfin tout-à-fait au bout d'environ 3 jours, ce qui lui fit connoître évidemment que l'eau de la phiole s'en étoit ſaiſie ; ce qui s'eſt paſſé à l'égard de l'eau, arriveroit ſans doute à toute autre matiére ; on pourroit tout-au-plus ſoupçonner quelques variétés, dans la quantité d'air qui rentre, ou dans le tems qu'il met à rentrer

* *Eſſai ſur la nature & les propriét. de l'air.*

X. LEÇON.

Des expériences d'un autre genre ausquelles j'étois occupé, ayant exigé que je sçusse avec plus de précision, en combien de tems l'eau peut reprendre l'air qu'elle a perdu par l'ébullition & par la suppression du poids de l'atmosphére, je fis l'expérience qui suit.

XX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *Fig.* 37. est une caraffe que je remplis d'eau, récemment purgée d'air, environ jusqu'aux deux tiers de sa capacité ; je la bouche avec du liége que je couvre ensuite d'une couche de cire fondue & mêlée avec de la térébenthine ; à travers de ce bouchon je fais passer le bout du tuyau de verre *B C D*, qui est recourbé en deux sens opposés, & dont la partie *C D* attachée sur une planche graduée en pouces & en lignes, est soutenue verticalement sur un pied. Je fais encore passer à travers du même bouchon le tube d'un thermométre, dont la boule est en partie plongée dans l'eau de la caraffe.

Je place enſuite cette même caraffe dans un ſceau qui eſt rempli d'eau, ainſi que la partie *C E* du tuyau ; je marque alors avec un fil *K*, la hauteur du thermométre, & j'obſerve au barométre celle du mercure, au moment que je commence l'expérience.

Tout étant ainſi diſpoſé, je remarque de 12 en 12 heures l'aſcenſion de l'eau dans le tuyau au-deſſus du point *E*; & pour être sûr que l'air eſt toujours d'une égale denſité entre l'eau du tuyau & celle de la caraffe, à chaque obſervation, je prens ſoin 1o. de rappeller le bain du ſceau *G H* à ſa premiére température, en le réchauffant ou en le refroidiſſant juſqu'à ce que la liqueur du thermométre revienne, & ſe fixe au fil *K*. 2o. Je vois de combien le mercure a hauſſé ou baiſſé dans le barométre, & comme une ligne de mercure répond à 14 lignes d'eau pour le poids, je les ajoute ou je les diminue dans la partie *C D* du tuyau, afin que la preſſion de l'atmoſphére demeure toujours à-peu-près la même.

La quantité d'eau qui s'éléve au-

X. LEÇON.

deſſus du point *E*, indique, comme on voit, le volume d'air qui rentre dans l'eau de la caraffe ; & après l'expérience, on peut comparer ce volume d'air à celui de l'eau dans laquelle il rentre, en meſurant avec un chalumeau renflé *F*, combien de fois l'eau de la caraffe ſurpaſſe celle qui s'eſt élevée au-deſſus du point *E*.

EFFETS.

En procédant ainſi j'ai obſervé, 1o. Que l'eau du tuyau s'eſt élevée continuellement pendant 7 à 8 jours au-deſſus de *E*.

2o. Que le progrès de ſon aſcenſion a toujours été en diminuant, de façon que dès le ſixiéme jour, il étoit preſqu'inſenſible.

3o. Que la ſomme de toutes les quantités d'eau élevées égaloit à-peu-près la trentiéme partie de celle de la caraffe.

EXPLICATIONS.

La maſſe d'eau qui eſt dans la caraffe, eſt à l'égard de l'air qui eſt contenu au-deſſus, à-peu-près comme un corps ſpongieux que l'on a preſſé ou

desséché, & que l'on applique à la surface de quelque liqueur; les pores qui ont été vuidés, comme autant de petits tubes capillaires, absorbent le fluide qui s'y présente, & qui est encore aidé par la pression de l'atmosphére qui agit en *D*. Mais comme l'air est composé de parties rameuses, ou de petites lames tortillées, ce n'est que peu-à-peu qu'il s'atténue, & que ses globules peuvent se proportionner aux petites capacités tortueuses qu'il doit remplir ; la difficulté qu'il a pour s'introduire dans l'eau, devient d'autant plus grande, que la masse de la liqueur est plus profonde; & c'est par ces raisons, sans doute, qu'il la pénétre si lentement, & que les progrès de cette pénétration vont toujours en diminuant.

APPLICATIONS.

En suivant le procédé de l'expérience précédente, on peut connoître à-peu-près la quantité d'air que l'on a fait sortir d'une matiére ; car il y a toute apparence, qu'après un tems suffisant, ce qui est rentré est égal à ce qui en étoit sorti ; & con-

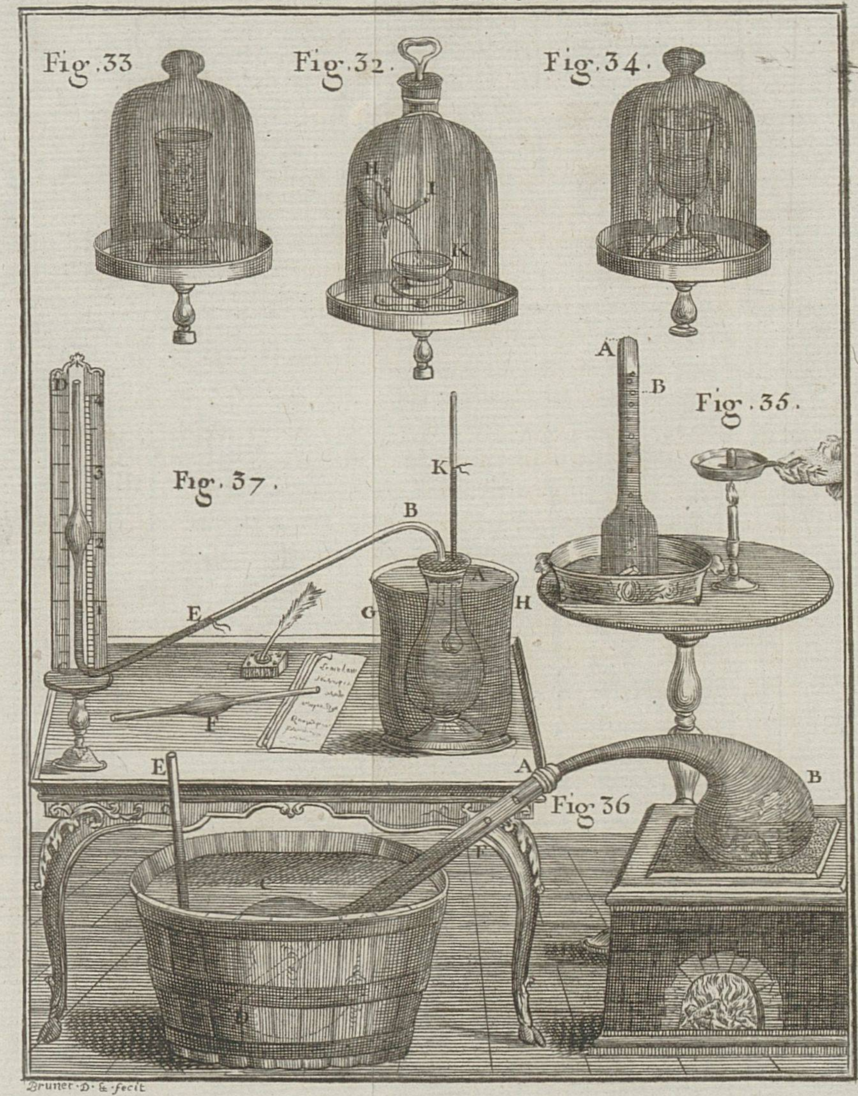
X. LEÇON.

séquemment on pourra juger entre plusieurs espéces, celle qui abonde le plus en air, celle qui le reprend plus promptement, & combien de tems on peut la regarder comme étant purgée d'air.

Ne pourroit-on pas même par ce moyen introduire certaines odeurs dans des matiéres fluides ? car l'air en y rentrant, pourroit servir de véhicule aux parties odorantes, dont il se charge très-facilement, & en très-grande quantité.

Ces différentes vûes ouvrent un champ assez vaste à de nouvelles & curieuses expériences ; j'en ai déja tenté avec quelque succès plusieurs, dont je rendrai compte ailleurs ; je souhaite que mon exemple excite le zéle des Physiciens ; la même matiére maniée par différentes mains, fournit ordinairement un plus grand nombre de connoissances.




Fig. 33
Fig. 32
Fig. 34
H
I
K
A
B
Fig. 35
Fig. 37
K
B
A
G
H
E
D
4
3
2
1
F
E
A
B
Fig 36
F
Bruner D. & fecit

XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

II. SECTION.

De l'Air conſidéré comme Atmoſphére terreſtre.

LA plûpart des matiéres terreſtres contiennent beaucoup d'air entre leurs parties, comme nous l'avons fait voir à la fin de la Leçon précédente ; réciproquement auſſi, une maſſe d'air quelconque ſe trouve toujours mélangée de quelques ſubſtances étrangéres, & l'on peut dire d'elle, comme de tout autre corps, qu'elle n'eſt jamais parfaitement pure, c'eſt-à-dire, qu'elle comprend toujours dans ſon volume quelqu'autre choſe que ſa matiére propre. Tout ce qui s'exhale de la terre & des eaux, des animaux & des plantes, entre auſſi-tôt XI. Leçon.

XI. LEÇON.

dans cet élément que nous respirons, dans lequel nous vivons, & à qui l'on a donné le nom d'*Atmosphére*, parce qu'il enveloppe de toutes parts le globe dont nous habitons la surface. C'est un fait dont nous avons essayé de rendre raison *, en supposant qu'il étoit suffisamment connu ; & en effet, si l'on en pouvoit douter, la dissipation d'une infinité de substances qui disparoissent tous les jours à nos yeux, & l'opinion raisonnable & généralement reçue, que rien ne s'anéantit de tout ce qui a été créé, suffiroient pour nous convaincre de cette vérité : lorsque le feu décompose un mixte, ne voyons-nous pas les parties les plus subtiles s'élever en flamme & en fumée ? Quand le cadavre d'un chien ou d'un cheval qu'on a jetté à la voirie, diminue de jour en jour, & devient à rien, n'est-ce point toujours en infectant les environs par une mauvaise odeur, effet, comme on sçait, des parties qui s'en exhalent ? Enfin quelqu'un ignore-t-il que les vaisseaux qui contiennent des liqueurs, se vuident par évaporation, si l'on néglige de les boucher ? L'atmosphére

* *Tome II. pag.* 110. *& suiv.*

mosphére terrestre est donc un fluide mixte, un air chargé d'exhalaisons & de vapeurs. Son état varie selon les tems & les lieux, parce que les parties qui entrent dans ce mélange, ne sont pas toujours ni par-tout en même quantité, ni avec les mêmes qualités.

On peut considérer l'atmosphére sous deux aspects différens : 1ment, comme un fluide en repos, qui pése également de toutes parts sur la terre, qui reçoit d'elle des matiéres de différentes natures, qui les soutient pendant un tems, qui les laisse retomber, & qui nous transmet le chaud & le froid dont il est susceptible : 2ment, comme un fluide agité, dont les mouvemens peuvent être différemment modifiés. En examinant l'atmosphére sous ces deux points de vûe, nous parcourrons dans les deux articles suivans ses principales propriétes.

ARTICLE PREMIER.

De l'Atmosphére considérée comme un fluide en repos.

Le repos que je suppose ici ne doit point s'entendre dans un sens

XI. LEÇON.

abſolu, & pour toute l'atmoſphére en même tems ; car à la rigueur les parties qui la compoſent ſont dans un mouvement preſque continuel, puiſqu'elles s'élévent ou s'abbaiſſent fréquemment, & que les changemens de température les étendent ou les reſſerrent alternativement. Indépendamment de ces viciſſitudes, il ne regne jamais un calme ſi complet dans ce vaſte fluide, qu'il n'y en ait toujours quelque portion agitée ; & d'ailleurs l'atmoſphére eſt une dépendance du globe terreſtre qui ſe meut comme lui & avec lui en 24 heures ſur un axe commun, & en un an dans le même orbe autour du ſoleil ; ainſi quand je la conſidére comme étant en repos, c'eſt bien moins en lui attribuant abſolument cet état, qu'en faiſant abſtraction de ſes principaux mouvemens.

Nous ne voyons jamais qu'aucune portion de l'atmoſphére perde ſa fluidité, quoiqu'une grande partie de ce qui la compoſe ſoit propre à former des corps ſolides : l'eau s'y durcit & retombe en petits glaçons ; mais l'air dans lequel elle étoit ſoutenue ne ſe

congéle point avec elle ; c'eſt que ces parties aqueuſes, quelqu'abondantes qu'elles ſoient, ne le ſont jamais aſſez pour intercepter entiérement la contiguité des parties propres d'un volume d'air un peu conſidérable ; & cet élément, tant qu'il fait maſſe, conſerve toujours ſon reſſort, qui paroît être, comme nous l'avons dit ci-deſſus, la principale cauſe de ſa fluidité.

Toute matiére qui appartient à la terre a une tendance naturelle vers le centre de cette planette. Or comme l'atmoſphére eſt compoſée d'air, & d'un extrait, pour ainſi dire, de tous les corps ſublunaires, dont nous avons prouvé la péſanteur dans les Leçons précédentes ; on ne peut douter qu'elle ne péſe ſur nous & ſur tout ce qui s'y trouve plongé comme nous : on en a douté cependant, ou plutôt, on a été très long-tems ſans y faire attention. Nous avons dit ailleurs * de quelle maniére enfin l'on s'en eſt convaincu, & comment la connoiſſance du poids de l'atmoſphére a éclairé les Phyſiciens ſur pluſieurs phénoménes qui en réſultent.

* *Tome I. p. 290. & ſuiv.*

XI. LEÇON.

Mais cette pesanteur est celle d'un fluide; elle doit donc croître & diminuer selon la hauteur des colonnes & la largeur de leur base ; c'est aussi selon cette proportion qu'elle agit, comme on l'a déja vû dans la septiéme Leçon, où nous avons rapporté l'origine du barometre, ses principaux usages, & l'épreuve qu'on en fit dans les différentes stations de la montagne du Puy de Dome en Auvergne : je rapporterai encore ici une expérience du même genre, & d'une exécution plus facile, qui me donnera occasion d'exposer ce qu'il me reste à dire sur cette matiére.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut faire choix de quelque lieu élevé & accessible, comme d'une tour, d'un clocher, ou de quelque autre édifice, dont on puisse aisément mesurer la hauteur perpendiculaire, & se munir de deux barométres bien semblables ; c'est-à-dire, que dans le même lieu le mercure soit toujours dans l'un & dans l'autre à des hau-

teurs pareilles. On laiſſe un de ces inſtrumens au pied de la tour avec un Obſervateur qui examine attentivement, s'il n'arrive point de variation à la hauteur du mercure, pendant qu'on porte l'autre en haut.

EFFETS.

1°. A meſure qu'on s'éléve avec le barométre, le mercure s'abbaiſſe dans le tube, comme je l'ai déja dit * en rapportant l'expérience de M. Paſcal, exécutée au Puy de Dome par M. Perrier.

* *Tome II. Pag.* 300.

2°. Si, lorſque le mercure s'eſt abbaiſſé d'une ligne, on meſure la hauteur de l'endroit où l'on fait cette premiére ſtation, on trouve qu'elle eſt d'environ 12 toiſes.

3°. Si l'édifice ou la nature du lieu permet que l'on s'éléve davantage à des hauteurs connues ou meſurables, on trouve que les ſtations ſuivantes, qui ſe font à chaque fois qu'on obſerve une ligne d'abaiſſement au mercure, ſont toujours à-peu-près de 12 toiſes les unes au-deſſus des autres.

4°. On remarque que les hauteurs perpendiculaires de toutes ces ſta-

XI. LEÇON.

tions, dont chacune répond à une ligne d'abbaiſſement du mercure, ſont d'autant plus petites que l'air péſe davantage dans le tems de l'expérience, ſoit par le peu d'élévation du lieu où l'on opére, ſoit par l'état actuel de l'atmoſphére.

5°. Si l'on répete cette épreuve dans des lieux qui ne ſoient que médiocrement éloignés les uns des autres, & dans des circonſtances qui rendent la preſſion de l'atmoſphére à peu-près ſemblable, on trouve auſſi à-peu-près les mêmes réſultats; mais lorſque les diſtances ſont très-grandes, comme de 400 ou 500 lieues, on peut s'attendre à des différences aſſez conſidérables.

Explications.

L'atmoſphére ayant plus de hauteur à compter du rez-de-chauſſée d'une tour, ou du pied d'une montagne, qu'elle n'en a à toutes les ſtations que l'on fait en montant, ſon poids eſt auſſi plus grand; & s'il eſt capable de ſoutenir d'abord 27 pouces $\frac{1}{2}$ de mercure dans chaque barométre, celui des deux que l'on porte plus haut ſe trouve ſous une co-

lonne d'air plus courte, qui, par conséquent ſoutient moins de mercure. Cette diminution de poids dans la colonne de l'atmoſphére ne peut être attribuée qu'à ſon raccourciſſement ; car le barométre de comparaiſon, qu'on a laiſſé dans le lieu le plus bas, & qui ſoutient une colonne entiére, ſoit qu'il varie, ou qu'il ne varie pas pendant l'expérience, ſe trouve toujours plus haut que l'autre, & ſuivant les proportions marquées dans les réſultats ci-deſſus.

Par le ſecond & le troiſiéme de ces réſultats, on voit que chaque ligne d'abbaiſſement du mercure dans le barométre répond environ à 12 toiſes de hauteur perpendiculaire dans l'atmoſphére : ce rapport nous donne l'air plus péſant que nous ne l'avons eſtimé dans la Leçon précédente; car nous avons dit que ſa denſité ou peſanteur ſpécifique eſt à celle de l'eau, à-peu-près comme l'unité eſt à 900 ; & comme le mercure péſe 14 fois autant que l'eau, il ſuit qu'une ligne de mercure équivaut à 14 fois 900 lignes d'air dont la ſomme 12600 fait 15 toiſes 4 pieds 6 pouces & 8 lignes,

XI. LEÇON.

au lieu de 12 toiſes dont nous venons de faire mention dans les réſultats précédens.

Mais il faut obſerver auſſi, que de tous ceux qui ſe ſont appliqués à cette recherche par des expériences ſoigneuſement faites en différens tems & en différens lieux, il en eſt bien peu qui s'accordent à conclure le même rapport. M. Caſſini, après avoir porté le barométre ſur la montagne de Notre-Dame de la Garde près de Toulon, évalue à 10 toiſes & 5 pieds la hauteur de l'air qui ſoutient une ligne de mercure. M. de la Hire le pere la trouva de 12 toiſes, par des épreuves qu'il fit ſur le Mont-Clairet, dans le voiſinage de la même Ville; ce même Académicien la jugea de 12 toiſes 4 pieds à Meudon, & de 12 toiſes 2 pieds 8 pouces à Paris. Selon les obſervations de M. Picart faites au Mont Saint Michel, une ligne de différence dans la hauteur du mercure au barométre, répond à 14 toiſes 1 pied & 4 pouces d'air. Enfin M. Vallerius *, ſçavant Suédois, qui répéta ces expériences dans ſon pays après avoir obſervé les diverſes

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1712. p. 3. & *ſuiv.*

XI. LEÇON.

hauteurs d'un barométre qu'il descendit d'abord dans une mine très-profonde, & qu'il porta ensuite au sommet d'une montagne voisine, compta pour chaque ligne de mercure 10 toises 1 pied & 4 lignes de hauteur dans l'atmosphére. M. de la Hire * le fils attribue toutes ces différences à deux causes principales : 1°. à des couches de vapeurs, qui peuvent regner dans certaines parties de l'atmosphére, & qui en augmentent pour un tems la pésanteur ; ce qui paroît très-vraisemblable : 2°. à la situation des lieux où l'on fait ces expériences, ou à la pésanteur actuelle plus ou moins grande de l'atmosphére ; & en effet, on voit par le quatriéme résultat que la portion d'une colonne d'air qui répond à une ligne de mercure, est d'autant plus grande ou plus petite, que cet air est plus ou moins dense ; & la densité ou le poids d'un fluide compressible, croît à mesure qu'il est plus chargé, soit par sa propre matiére amoncellée, soit par des parties étrangéres qui s'y mêlent.

* *Mém. de l'Académie des Sciences, 1712. pag. 114.*

On peut ajouter encore pour troisiéme raison, (& c'est peut-être la

XI. LEÇON.

plus forte ;) on peut, dis-je, ajouter qu'il eſt très-difficile d'eſtimer au juſte chaque ligne d'abbaiſſement du mercure dans le barométre ; cependant les plus petites erreurs dans cette eſtimation ſont d'une grande conſéquence, lorſqu'il s'agit de juger avec exactitude de la hauteur d'une colonne d'air correſpondante. Car puiſque le mercure ne s'abbaiſſe que d'une ligne pour un retranchement d'environ 12 toiſes fait à la colonne d'air, on peut aiſément ſe tromper de quelques toiſes ſur celle-ci ; il ſuffit pour cela qu'il y ait un mécompte d'un $\frac{1}{12}$ de ligne dans l'obſervation du barométre. Ceux qui connoiſſent bien cet inſtrument, conviendront ſans peine que l'obſervateur le plus attentif peut fort bien commettre de pareilles fautes, nonſeulement à cauſe de quelque défaut de mobilité qui peut empêcher le mercure de ſe remettre dans un parfait équilibre avec l'atmoſphére après ſes balancemens, mais encore à cauſe de la convexité de ſa ſurface & des petites réfractions occaſionnées par l'épaiſſeur du verre, & qui peuvent tromper l'œil.

Puiſque l'atmoſphére eſt un fluide compreſſible, on ne peut pas ſuppoſer que ſa denſité ſoit uniforme ; on doit penſer au contraire, que les couches ſupérieures, péſant ſur celles qui ſont au-deſſous, reſſerrent & condenſent de plus en plus leurs parties ; & conſéquemment à ce principe, les différentes ſtations où l'on obſerve en montant, une ligne d'abbaiſſement dans le mercure du barométre, doivent ſe trouver toujours de plus en plus éloignées les unes des autres. C'eſt ce qu'on obſerve en effet: mais juſqu'à une hauteur de 1000 ou 1200 toiſes au-deſſus du niveau de la mer, les différences ſont peu conſidérables ; apparemment parce que la grande quantité de vapeurs groſſiéres dont l'air eſt chargé dans cette baſſe région, & le grand poids qui le preſſe, rendent ſa denſité preſque uniforme. Mrs. Caſſini & Maraldi, après un grand nombre d'expériences faites ſur diverſes montagnes dont ils avoient meſuré géométriquement les hauteurs, jugerent que les portions retranchées d'une colonne de l'atmoſphére pour pluſieurs

XI. LEÇON.

lignes d'abbaiſſement du mercure au baromètre, croiſſent ſuivant cette progreſſion, ſçavoir, que ſi la première ligne de mercure répond à 61 pieds d'air, il y en a pour la ſeconde 62, pour la troiſiéme 63, & ainſi de ſuite. Mais ils ont penſé avec raiſon, que cette proportion ne continue point au-delà d'une demie-lieue au-deſſus du niveau de la mer ; car alors, l'air étant plus pur, ſon reſſort eſt plus libre, & ſes différens degrés de denſité ne dépendent preſque plus que de la preſſion des couches ſupérieures.

APPLICATIONS.

Si l'on a péſé la colonne de mercure d'un barométre dont le tuyau ſoit parfaitement cylindrique ; on ſçait auſſi-tôt quel eſt le poids de la colonne totale de l'atmoſphére qui la tient en équilibre ; & l'aire du cercle qui fait ſa baſe eſt un eſpace connu qu'on peut multiplier autant de fois qu'on voudra, pour ſçavoir quelle eſt la preſſion de l'atmoſphére, ſur un eſpace donné à la ſurface

de la terre ; un exemple rendra ceci plus intelligible.

XI. LEÇON.

Suppoſons que le tube du barométre ait trois lignes de diamétre intérieurement, & que le mercure qu'il contient péſe une livre ; cela m'apprend qne dans le même lieu où eſt le barométre, tout eſpace circulaire qui a trois lignes de diamétre, comme l'ouverture du tuyau, ſe trouve chargé d'une colonne d'air qui péſe une livre ; & cette preſſion ſe fait contre une porte de même que ſur une table ; parce que c'eſt ici le poids d'un fluide, qui agit dans toutes ſortes de directions, comme nous l'avons enſeigné en traitant de l'hydroſtatique.

Suppoſons maintenant qu'on voulût ſçavoir combien péſe l'atmoſphére ſur un eſpace circulaire d'un diamétre trois fois plus grand que le précédent; ce dernier eſpace eſt 9 fois plus étendu que le premier, car les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diamétres, & le quarré de 3 eſt 9. Je dirai donc : Puiſqu'une colonne de l'atmoſphére, dont la baſe a trois lignes de diamétre, péſe

XI. LEÇON.

une livre ; une autre colonne qui s'appuye sur un espace 9 fois plus grand pése 9 livres : & l'on pourra sçavoir ainsi quelle est la pression de l'atmosphére, sur tout espace dont on connoîtra l'étendue.

Quelques curieux, fondés sur ce principe, se sont proposé de chercher quel est le poids de toute l'atmosphére ; mais ce qu'ils ont pû sçavoir à cet égard, tient à des hypothéses dont les unes visiblement fausses, les autres très-incertaines, ont rendu leurs laborieux calculs presqu'inutiles. Et en effet quelle connoissance peut-on tirer d'un pareil travail, si l'on ignore quelle est au juste l'étendue de la surface de la terre ; si l'on néglige de tenir compte de la hauteur de ses inégalités ; si l'on considére l'atmosphére, comme un fluide d'une densité uniforme dans ses parties semblables ; si l'on n'a point égard aux effets de la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe, &c ? On voit assez combien il seroit difficile de saisir avec justesse tous ces élémens ; mais cette question n'étant heureu-

sement que de pure curiosité, la solution qu'on pourroit se flatter d'en avoir, ne mérite pas la peine qu'elle exige.

On fera du barométre une application plus heureuse & plus utile, si l'on s'en sert pour mesurer la hauteur des montagnes ; car suivant les expériences qui furent faites par MM. Cassini, Maraldi, & Chaselles en Auvergne, en Languedoc, & en Roussillon *, il paroît que depuis le niveau de la mer jusqu'à une demie-lieue de hauteur, on peut compter environ 10 toises d'élévation pour chaque ligne d'abbaissement du mercure, en ajoutant un pied à la premiére dixaine, 2 pieds à la seconde, 3 pieds à la troisiéme, & ainsi de suite.

** Mém. de l'Acad. des Scienc. 1703. page 229. & suiv.*

On voit bien que pour mettre ce moyen en usage, il faut sçavoir à quelle hauteur se tient actuellement le mercure au bord de la mer pendant que l'on opére ; & c'est ce que l'on peut sçavoir facilement par un barométre de comparaison qu'on y laisse avec un Observateur attentif. Il n'est pas même besoin que ce barométre & cet Observateur soient au

XI. LEÇON.

bord de la mer ; il ſuffit que l'obſervation ſe faſſe dans un lieu dont on connoiſſe l'élévation au deſſus du niveau de la mer ; & c'eſt ce qu'il n'eſt point rare de trouver maintenant dans preſque tous les Etats. La ſalle de l'Obſervatoire Royal de Paris, par exemple, où l'on fait perpétuellement les obſervations du barométre, & dont on tient un état tous les ans, eſt de 45 toiſes au-deſſus de la Méditerranée, & de 46 au-deſſus du niveau de l'Océan ; & le mercure s'y tient toujours pour cette raiſon, environ 4 lignes plus bas qu'on ne l'obſerve au bord de ces deux mers.

Je ſuppoſe donc que l'on ait porté un barométre au ſommet d'une montagne dont la hauteur eſt inconnue ; ſi l'on y trouve le mercure 10 lignes au-deſſous du terme où il ſeroit ſur le bord de la mer, en comptant d'abord 10 toiſes pour chaque ligne de mercure, on aura 100 toiſes, auſquelles ajoutant un pied pour la premiére dixaine, 2 pieds pour la ſeconde, 3 pieds pour la troiſiéme, & ainſi de ſuite juſqu'à la dixiéme incluſivement, on aura encore 55 pieds

qui

qui font neuf toiſes & un pied ; ainſi l'on concluera 109 toiſes & un pied, pour la hauteur de la montagne au-deſſus du niveau de la mer.

Il eſt vrai que cette méthode ne donne point des meſures préciſes, & qu'en l'employant on ne peut guéres compter que ſur des à-peu-près : 1ment, parce que les expériences ſur leſquelles elle eſt fondée, ayant varié dans leurs réſultats, ne déterminent pas avec préciſion la hauteur qui répond à une ligne de mercure ; en ſecond lieu, parce qu'il eſt très-difficile de juger avec toute l'exactitude qui ſeroit néceſſaire, de combien le barométre a baiſſé lorſqu'il eſt parvenu au plus haut de la montagne ; & enfin, parce que pendant l'opération, il peut arriver quelque changement dans la partie de l'atmoſphére qui couvre le lieu où l'on opére. Mais combien y a-t-il d'occaſions où les meſures géométriques ne peuvent être employées, & où l'on peut ſe contenter de connoître ces hauteurs à 10 ou 12 toiſes près ?

Une des vûes que l'on pourroit avoir encore en faiſant uſage du ba-

XI. LEÇON.

rométre, ce feroit de connoître l'étendue de l'atmofphére, en déterminant la hauteur de cette colonne d'air qui foutient celle du mercure, & dont nous avons appris ci-deffus à mefurer le poids ; il femble qu'on en pourroit aifément venir à bout, fi l'air de l'atmofphére, comme de l'eau ou comme toute autre liqueur, étoit partout d'une denfité uniforme ; car en fuppofant qu'une ligne de mercure répondît toujours à 10 toifes de cette colonne, elle devroit avoir autant de fois 10 toifes que l'on compte de lignes dans 28 pouces, hauteur moyenne du barométre au niveau de la mer. Or il y a 336 lignes dans 28 pouces, ce qui donneroit 3360 toifes pour la hauteur totale de l'atmofphére : mais le fluide dont il s'agit eft une matiére compreffible ; & par cette raifon, les parties femblables de cette colonne étant prifes les unes au-deffus des autres, ne doivent pas péfer également, ou (ce qui eft la même chofe,) toutes ces portions, pour être de même poids, doivent avoir des longueurs différentes ; les plus baffes feront plus courtes que celles qui font au-deffus.

XI. LEÇON.

Cette difficulté cependant n'empêcheroit pas qu'on ne vînt à bout d'évaluer par cette méthode la hauteur de l'atmoſphére, ſi l'on ſçavoit au juſte dans quelle progreſſion l'air ſe raréfie, à meſure que ſa maſſe diminue, & qu'il ſe trouve moins chargé par ſon propre poids : ſi l'on étoit certain, par exemple, que ſa denſité augmente & diminue comme les poids qui le compriment, & que cette regle établie par M. Mariotte peut être ſuivie à toutes ſortes de hauteurs. Mais bien loin de pouvoir compter ſur cette ſuppoſition, on ſçait, par un nombre ſuffiſant d'obſervations & d'expériences, que l'air ne ſe raréfie & ne ſe comprime ainſi que dans une denſité moyenne, & que dans les cas extrêmes il ſuit une autre progreſſion que l'on ne connoît point aſſez, & qui, telle qu'elle puiſſe être, doit varier ſuivant certaines circonſtances. Plus ou moins de chaleur ou de pureté dans une région où nos obſervations ne peuvent s'étendre, ſuffit pour cauſer des changemens aſſez conſidérables à la péſanteur de l'atmoſphére, & à ſa hauteur : on ne

XI. LEÇON.

peut, ſans incertitude, juger de l'une par l'autre, (je veux dire, de la hauteur par le poids,) quand on ignore quel eſt l'état actuel de l'air dans toute ſon étendue.

Un corps à reſſort que l'on a comprimé fortement avec un certain nombre de poids égaux, lorſqu'on vient à le décharger peu-à-peu, ſe déploye par des quantités qui vont toujours en augmentant, & qui ſuivent d'abord une progreſſion aſſez réguliére ; mais ſur la fin, lorſqu'on ôte les derniers poids, le développement ou l'extenſion du reſſort ſe fait dans des rapports beaucoup plus conſidérables. Comme l'air eſt un fluide élaſtique, on doit préſumer que dans les hautes régions, où il eſt bien moins chargé par ſon propre poids, que partout ailleurs où nous pouvons faire des épreuves, il s'étend auſſi beaucoup davantage, ce qui doit donner à l'atmoſphére une hauteur plus grande qu'elle n'auroit, ſi nous en devions juger par les quantités qui répondent ici-bas à une ligne d'abbaiſſement du mercure dans le barométre

D'ailleurs on doit faire attention,

qu'à une plus grande distance du centre de la terre, la pésanteur diminue, & la force centrifuge augmente : ces deux causes concourent encore à diminuer le poids de l'air, & à faciliter sa raréfaction dans la partie la plus élevée de l'atmosphére.

De ces différentes considérations, & des expériences faites avec le barométre il suit, que notre atmosphére ne peut pas avoir moins que 6 lieues d'étendue en hauteur ; il suit aussi, (& c'est l'opinion commune) que cette même hauteur peut être de 15 ou 20 lieues : quelles différences! & combien nous sommes encore peu instruits sur cette question!

M. de la Hire touché de cette incertitude, & désirant une solution moins vague, se proposa de connoître la hauteur de l'atmosphére, en faisant usage d'une méthode indiquée par Kepler, mais qu'il perfectionna & sçut employer plus heureusement que cet Astronome. Ce qu'on appelle *crépuscule*, cette lumiére qui commence le jour avant que le soleil soit levé, & qui le fait durer encore quelque tems après que cet astre est couché,

XI. LEÇON.

eſt un effet de la réflexion cauſée par l'atmoſphére aux rayons qui, ſans cela, paſſeroient au-deſſus de cette partie de la terre que nous habitons, & ne l'éclaireroient point : cette lumiére réfléchie qu'on apperçoit ſenſiblement dans le climat de Paris, lorſque le ſoleil n'eſt pas plus bas que 18 degrés au-deſſous de l'horiſon, commenceroit plus tard le matin, & finiroit plutôt le ſoir, ſi l'atmoſphére avoit moins d'étendue, parce qu'alors les rayons de lumiére pourroient partir d'un point plus élevé vers l'horizon, ſans rencontrer cette maſſe fluide qui les renvoye vers la terre. Il y a donc un rapport néceſſaire entre la durée des crépuſcules & la hauteur de l'atmoſphére ; & comme la premiére de ces deux choſes eſt connue ou facile à connoître, dans toutes les poſitions de la ſphére, on voit qu'elle peut généralement conduire à découvrir l'autre. En effet M. de la Hire & M. Halley, en maniant cette méthode avec une adreſſe & des précautions dont il faut lire le détail dans leurs propres ouvrages *, ont conclu avec aſſez de

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1713. p. 54.

vraiſemblance la hauteur de l'atmoſphére de 15 ou 16 lieues ; je dis avec aſſez de vraiſemblance, & non avec certitude, parce que leur doctrine tient encore à quelques hypothéſes, qui pourroient bien n'être pas préciſément d'accord avec la nature.

Si l'on connoiſſoit bien la hauteur de l'atmoſphére pour chaque climat, on ſçauroit quelle eſt la figure de toute ſa maſſe ; car une ſuite de colonnes, qui depuis l'équateur juſqu'aux poles, ſeroient rangées dans un même plan, formeroient, par leurs extrémités, une courbe d'où réſulteroit la ſolution du problême. Mais comme il reſte des doutes ſur la premiere de ces deux queſtions, la ſeconde demeure encore indéciſe, au moins pour ceux qui ne veulent ſe rendre qu'à des raiſons tout-à-fait évidentes.

Sur les obſervations de M. Richer à la Cayenne, & ſur celles qui furent faites à-peu-près dans les mêmes tems avec le barométre en differens climats, on conjectura que la hauteur de l'atmoſphére augmentoit de plus en plus, depuis l'équateur juſ-

XI. LEÇON.

qu'aux pôles, parce que le mercure se tient plus haut dans les pays septentrionaux que sous la ligne équinoxiale & aux environs. Suivant cette conjecture l'atmosphére formeroit donc, avec la terre qu'elle enveloppe, un sphéroïde allongé vers les pôles, & son épaisseur seroit moindre à l'équateur que par-tout ailleurs.

Mais sans donner atteinte aux observations du barométre, qui ne se sont point démenties depuis, & qui ont été même réïtérées en dernier lieu avec toute l'exactitude possible, ne pourroit-on pas conjecturer tout autrement qu'on n'a fait touchant la figure extérieure de l'atmosphére ? en jugeant de ses hauteurs, par ses différens dégrés de pression, a-t-on pu négliger d'avoir égard à la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe, & qui est commun sans doute à l'air qui l'environne ? une pareille considération a fait conclure que les parties de notre globe, pour être en équilibre entr'elles, avoient dû s'arranger sous la forme d'un sphéroïde plus élevé à l'équateur qu'aux pôles, comme nous l'avons expliqué

pliqué ailleurs*. Ne peut-on pas dire la même chose, & avec plus de raison encore d'un fluide plus disposé par sa nature à se prêter aux loix de la statique, & à celles des forces centrales? Il y a donc beaucoup d'apparence que l'air est plus haut entre les deux tropiques qu'il ne l'est par-tout ailleurs, parce que cette partie de l'atmosphére tourne avec plus de vîtesse, & que la force centrifuge y agit plus fortement & plus directement contre la pésanteur.

* Tome II. p. 150.

On peut ajouter aussi, que sous la Zone torride, où il régne une chaleur plus grande & plus continuelle, au moins vers la surface de la terre, l'air doit y être plus raréfié, & que les colonnes par conséquent doivent augmenter en longueur, pour être en équilibre avec celles d'un autre climat. Si le mercure du barométre s'y tient plus bas que dans le nord, on ne peut point douter que l'air n'y soit moins pésant; mais cette moindre pésanteur vient-elle de ce que les colonnes sont moins hautes, ou bien doit-on s'en prendre aux causes que je viens d'exposer? le dernier parti

me paroît le plus vraiſemblable.

XI. Leçon.

II. EXPERIENCE.

Preparation.

Il faut mêler de la glace pilée ou de la neige avec du ſel dans un vaſe de verre ou de métal fort mince, qui ſoit bien eſſuyé en-dehors, & que l'on tient environ un quart d'heure dans un lieu frais.

Effets.

Tous les déhors du vaiſſeau ſe couvrent peu-à-peu d'une eſpéce de frimas ou de gelée blanche aſſez ſemblable à celle qu'on voit le matin ſur les toits & à la ſurface de la terre, vers la fin de l'automne ou au bord de l'hyver.

Explications.

Le mélange de glace & de ſel refroidit conſidérablement les parois du vaſe qui le contiennent : ce refroidiſſement condenſe auſſi-tôt l'air extérieur le plus prochain ; & les particules d'eau dont cet air eſt chargé, étant condenſées auſſi par la même

cause, s'appliquent & se gélent contre le vase ; à la premiére couche il s'en joint une autre, à celle-ci une troisiéme, &c. ce qui fait que cette congélation extérieure s'épaissit plus ou moins, selon la durée & l'intensité du froid artificiel qui la cause. XI. Leçon.

Si l'on étoit tenté de croire que cet effet n'est qu'une transpiration de ce qui est dans le vase, on seroit bientôt désabusé de cette erreur en goûtant la glace extérieure ; car on la trouveroit insipide & bien différente de ce qu'elle devroit être, si elle se formoit d'eau salée.

Pour dissiper entiérement ce préjugé, avant que de refroidir mon vase avec le mélange de sel & de glace, je le place dans un autre vase de verre, & j'empêche que l'air extérieur ne puisse entrer dans le peu d'intervalle qui se trouve entre lui & l'autre; & alors quel que soit le refroidissement, je n'apperçois aucune congélation autour du vase enfermé : celle qu'on y voit lorsqu'il ne l'est pas, ne peut donc être attribuée qu'à l'humidité de l'air extérieur.

XI. Leçon.

III. EXPERIENCE.

Preparation.

La *Fig.* 1. repréſente un ballon de verre bien tranſparent, de 9 à 10 pouces de diamétre, qui n'a jamais été rempli d'aucune liqueur & qui eſt joint avec le plus grand récipient de la machine pneumatique par un canal garni d'un robinet, de ſorte qu'on peut ouvrir & fermer la communication entre les deux vaiſſeaux : la clef du robinet eſt percée de façon que, quand le récipient & le ballon ne communiquent point enſemble, celui-ci communique avec l'air extérieur : le canal étant donc fermé, on épuiſe l'air du récipient, & l'on ouvre enſuite la communication entre le ballon & lui.

Effets.

Si le ballon eſt placé entre la lumiére & l'œil du ſpectateur, on y apperçoit une vapeur légére qui tournoye, & qui ſe précipite vers le bas du vaiſſeau ; s'il rentre de nouvel air dans le ballon, & qu'on ouvre de

nouveau la communication, on voit aussi-tôt renaître la vapeur ; & cet effet arrive autant de fois qu'on ouvre le robinet, pourvû que l'air soit encore suffisamment raréfié dans le récipient.

EXPLICATIONS.

Toutes les fois qu'on ouvre une communication entre deux capacités, dont l'une est vuide d'air, l'autre en étant pleine, ce fluide s'étend & se partage à toutes les deux, suivant le rapport qu'elles ont entr'elles, comme on l'a dit en parlant des fonctions de la machine pneumatique ; c'est pourquoi, dans le ballon de l'expérience précédente, l'air se raréfie considérablement, dès que le vaisseau vient à communiquer avec le récipient que l'on a évacué. Mais comme les petits corps étrangers dont cette masse d'air est chargée ne sont pas de nature à s'étendre comme elle, ils demeurent isolés, ils sont abandonnés à leur propre poids, & au mouvement de l'air qui se porte de toutes parts vers le canal de commu-

XI. LEÇON.

nication, ce qui les fait tournoyer en tombant en forme de vapeur.

Le même effet s'apperçoit toujours plus ou moins à tout récipient où l'on commence à faire le vuide ; & j'aurois pû me contenter de rappeller ce fait si familier à ceux qui font usage de la machine pneumatique, pour prouver que l'air est toujours mêlé de matiéres étrangéres ; mais on auroit pû m'objecter que cette vapeur qui fait ici le fond de ma preuve, n'est dûe qu'à l'humidité du cuir mouillé qui couvre la platine, & sur lequel on applique le vaisseau : je dissipe ce soupçon quand je la fais voir dans un ballon bien net, & dans lequel il n'entre autre chose que l'air qui vient immediatement de l'atmosphére : quiconque ne voudra pas se rendre à cette raison, en trouvera beaucoup d'autres encore dans un écrit * où j'ai traité exprès de cette matiére.

* *Mém. de l'Acad. des Sc. 1740. p. 243.*

On pourroit demander pourquoi les corpuscules qui forment la vapeur dont il s'agit, n'étant point visibles dans l'air de l'atmosphére, le deviennent aussi-tôt que ce fluide vient à se raréfier.

XI. LEÇON.

Il y a toute apparence que ces petits corps, dès qu'ils cessent d'être soutenus, retombent les uns sur les autres, & s'unissent pour former des masses plus grossiéres, & par conséquent plus propres à être apperçues.

D'ailleurs c'est un fait que nous examinerons en traitant de l'optique, que la transparence des corps diminue, à mesure que leurs parties deviennent plus denses les unes que les autres : or quand cette masse fluide qui remplit le ballon vient à se raréfier, il n'y a que la densité de l'air proprement dit, qui diminue ; celle des autres matiéres qui s'y trouvent mêlées, augmente au contraire, & ce double effet occasionne sans doute cette petite opacité qu'on apperçoit, & qui ne manque pas de disparoître aussi-tôt qu'une raréfaction suffisante a donné lieu à l'air de se purifier, en se désaisissant entiérement de ce qu'il avoit d'étranger.

APPLICATIONS.

On distingue communément en deux classes toutes les matiéres qui s'élévent de la surface de la terre dans l'atmosphére ; l'une comprend sous

XI. LEÇON.

le nom de *Vapeurs* tout ce qui tient de la nature de l'eau ; dans l'autre on range toutes les parties salines, sulfureuses, grasses & spiritueuses, & c'est ce qu'on appelle *Exhalaisons*.

Toutes ces substances, tant celles qui s'exhalent, que celles qui s'évaporent, étant différemment mélangées ou modifiées, prennent des formes & produisent des effets qui varient beaucoup, & que l'on connoît sous le nom de *Météores*. On en peut distinguer de trois sortes ; sçavoir, ceux qui sont produits par les vapeurs seules & que l'on appelle météores *aqueux*, comme le brouillard, les nuages, la pluie, la grêle, le frimas, &c. ceux que font naître des exhalaisons qui s'allument, & que l'on nomme météores *enflammés* ; tels sont le tonnerre, les éclairs, les feux folets, &c. & ceux qui résultent des vapeurs & des exhalaisons combinées avec la lumiére, & qu'on peut appeller météores *lumineux*, comme l'arc-en-ciel, les parhélies, &c.

Pour ne point faire une trop longue digression, je me contenterai de par-

courir ici les météores de la premiére espéce ; & je remettrai à parler des autres dans les Leçons où je traiterai du feu & de la lumiére.

XI. LEÇON.

Pendant le jour, les rayons du soleil échauffent en même tems & la terre & l'air qui l'environne. Lorsque cet astre est couché, la chaleur qu'il a fait naître se rallentit peu-à-peu ; mais elle se conserve plus long-tems dans les corps qui ont plus de matiére, de sorte que pendant la nuit, la terre & les eaux sont communément plus chaudes que l'air de l'atmosphére. Alors la matiére du feu, qui tend à se répandre toujours uniformément à la maniére des autres fluides, passe de la terre dans l'air, & emporte avec elle les parties les plus subtiles des corps terrestres, qu'elle détache & qu'elle anime par son mouvement. Cette cause particuliére se joignant à celles dont nous avons fait mention * en parlant de l'élévation des vapeurs en général, fait que la partie de l'atmosphére la plus voisine de la terre reçoit une plus grande quantité de ces parties évaporées : de-là vient cette humidité qu'on apperçoit sensible-

* *Tome IV. pag. 110. & suiv.*

XI. Leçon.
ment ſur les habits, lorſqu'on ſe proméne à la campagne pendant les ſoirées fraîches du printems & de l'automne, & que l'on nomme *le ſerein*. Ces ſortes de vapeurs s'attachent plus promptement & en plus grande quantité aux taffetas & aux toiles fines qu'aux groſſes étoffes, parce que celles-ci prenant plus lentement que les autres la température de l'air qui ſe refroidit, le feu qui continue de s'en exhaler emporte avec lui les particules d'eau qui ſe préſentent à leur ſurface.

Le ſerein dure toute la nuit, dans les ſaiſons & dans les climats où la terre s'échauffe ſuffiſamment pendant le jour. Au ſoleil levant, la chaleur commence à renaître dans l'atmoſphére, & l'air, en ſe dilatant, ſe déſaiſit pour l'ordinaire de ces vapeurs, trop ſubtiles peut-être pour remplir ſes pores, ou bien elles ſuivent la matiére du feu à laquelle elles ſont encore unies, & qui retourne alors vers la terre. Les vapeurs qui retombent ainſi, s'appellent *roſées*; elles ſont plus abondantes aux champs qu'à la ville, & dans les campagnes couver-

tes d'arbres & de plantes que dans les lieux arides ; car il en tombe à proportion de ce qu'il s'en est élevé.

Il ne faut pas confondre cependant cette rosée qui tombe de l'air, avec celle qu'on remarque le matin sur les plantes. Ces gouttes qu'on voit à leurs tiges & sur leurs feuilles, sont des effets de la transpiration ; & l'on peut aisément s'en convaincre, si l'on couvre un choux ou un pied de laitue pendant la nuit ; car on y verra le matin la même rosée qu'on a coutume d'y voir lorsque ces plantes demeurent découvertes. Les particules d'eau qui forment ces gouttes viennent de la terre comme les autres, & sont élevées par la même cause ; mais au lieu d'en sortir immédiatement comme partout ailleurs, elles enfilent des tiges, des branches, des feuilles, leur mouvement se ralentit, & elles demeurent plusieurs ensemble à l'orifice des petits canaux par lesquels elles transpirent.

Les Empiriques & les Alchimistes ont attribué de grandes vertus à la rosée ; mais il paroît que toutes les merveilles qu'ils en ont annoncées

XI. LEÇON.

n'ont pas plus de réalité qu'une infinité de chiméres dont ils ont coutume de repaître leur imagination, & la crédulité des ignorans.

Plusieurs Auteurs ont dit avec plus de fondement & de vraisemblance, que la rosée peut nuire aux animaux que l'on méne paître trop matin, & qu'elle peut diminuer la fécondité des terres lorsqu'elle est trop abondante: car quoique cette vapeur ne soit pour la plus grande partie que de l'eau, on ne peut nier qu'elle n'emporte avec elle d'autres substances qui varient, soit pour la quantité, soit pour la qualité, selon les lieux, selon les degrés de chaleur, & selon les plantes d'où elle transpire. Ce qui prouve bien que la rosée n'est pas de l'eau pure, c'est qu'elle se corrompt, & qu'elle dépose lorsqu'on la garde dans des bouteilles. On peut attribuer aussi à la rosée, ou au serein qui tombe, ces couches légéres de matiéres grasses & sulfureuses qui se font remarquer par leurs couleurs d'Iris à la surface des eaux dormantes après plusieurs jours d'un tems serein, pendant lequel on ne voit tomber du ciel rien

autre chose qui puisse causer cet effet.

Il y a même des cas où la partie aqueuse de la rosée n'est pas la plus abondante : alors ce qui exsude de la plante, ou de l'arbre, est un suc qui s'épaissit à mesure que l'humidité s'évapore ; telles sont certaines gommes & quelques espéces de mannes dont la médecine fait usage.

Or puisque la rosée est une vapeur qui contient un extrait des matiéres minérales ou végétales d'où elle sort, il n'est point douteux qu'elle ne puisse avoir des qualités bonnes ou mauvaises, selon la nature des principes dont elle est chargée. Mais comme en différens lieux il naît différentes plantes, que la nature y varie de même ses autres productions, & que la chaleur qui anime les exhalaisons n'est ni toujours ni par-tout également forte, on doit présumer que la rosée & le serein changent de qualités suivant les tems & les lieux, & que les effets dont l'une ou l'autre seroit capable en telle saison ou en tel climat, n'auroient pas lieu ailleurs, ou dans un autre tems. A Rome, & dans ses environs, par exemple, il

XI. LEÇON.

eſt dangereux, dit-on, de prendre l'air le ſoir ; à Paris, on le peut faire impunément : c'eſt qu'ici le ſerein n'eſt preſque autre choſe qu'un peu d'humidité, au lieu qu'en Italie cette vapeur eſt chargée apparemment d'exhalaiſons nuiſibles, qui tiennent de la nature du terrain, & dont la quantité répond au grand chaud du climat ; ainſi l'on ne peut guéres prononcer en général ſur cette matiére.

Vers la fin de l'automne, quand les nuits commencent à être longues, la terre a plus de tems pour ſe refroidir, & très-ſouvent ſa ſurface & les corps qui y ſont iſolés ſont aſſez froids, pour glacer les particules d'eau dont la roſée tombante a coutume de les couvrir ; alors au lieu d'humidité on apperçoit ſur le gazon, ſur les toits des bâtimens, &c. une couche de petits glaçons fort menus que l'on nomme *Gelée blanche*, à cauſe de ſa couleur, & qui ne manque pas de ſe fondre & de ſe diſſiper dès que le ſoleil commence à faire ſentir ſa chaleur.

La roſée, ou la gelée blanche qui a été fondue, ſe diſſipe de deux maniéres ; elle rentre dans les terres ari-

des & dans les corps poreux qui ont plus de disposition à l'absorber que l'air de l'atmosphére ; mais le plus souvent elle s'éléve de nouveau, soit qu'une médiocre raréfaction mette l'atmosphére en état de la pomper, soit qu'un vent fort doux y transporte un air plus sec que celui sous lequel elle étoit.

Assez souvent, quand la rosée remonte, elle diminue la transparence de l'atmosphére, parce qu'alors les parties de cette vapeur sont beaucoup plus grossiéres, & qu'elles s'élévent plus lentement. Ces deux causes qui naissent l'une de l'autre, doivent nécessairement rendre l'air opaque : 1°. parce qu'un corps transparent l'est d'autant moins que ses parties différent davantage par leur densité, comme nous le prouverons par la suite : 2°. parce que la vapeur qui monte lentement, s'étend moins & devient plus dense.

Mais cette opacité que fait naître la rosée qui remonte, ne s'empare presque jamais d'une grande portion de l'atmosphére ; elle se cantonne, pour ainsi dire, & devient plus forte

XI. LEÇON.

dans les lieux bas & humides, & au-dessus des prairies que par-tout ailleurs, parce que, comme nous l'avons déja dit, la rosée retombe à proportion de ce qu'il s'en éléve; & si le tems est calme, elle doit être plus abondante le matin, aux endroits qui en fournissent une plus grande quantité pendant la nuit. C'est par cette raison sans doute, qu'on ne voit guéres au-dessus des Villes & des lieux arides l'atmosphére obscurcie par la rosée qui remonte, mais bien plus souvent au voisinage des riviéres, des étangs & des herbages.

Un préjugé généralement reçû & fondé sur les apparences, avoit établi, touchant la rosée & le serein, des idées bien fausses qui ont été dissipées dans ces derniers tems par MM. Gersten, Muschenbroek & Dufay. Le lecteur qui ne voudra rien ignorer de ce que l'on sçait sur cette matiére, doit parcourir leurs écrits, * où il trouvera un grand nombre d'expériences ingénieuses & d'observations aussi curieuses que nouvelles. De tous les faits qui y sont rapportés, celui qui surprend davantage, c'est

* *Christ. Lud. Gersten, tentam. Francof.* 1733.
* *Essais de Phys.* p. 753.
* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1736. pag. 352.

c'eſt que le ſerein ou la roſée ſemble éviter certains corps, tandis qu'ils s'attachent facilement aux autres : le verre, la porcelaine, & quantité d'autres matiéres ſe mouillent conſidérablement, tandis que des morceaux de métal poli, de quelqu'étendue qu'ils ſoient, expoſés au même lieu, demeurent conſtamment ſecs ; & cette eſpéce de préférence eſt ſi marquée, qu'un écu placé au milieu d'un grand plat de fayance, ou de verre, ne reçoit pas la moindre humidité, quoique le reſte du vaiſſeau ſoit tout mouillé.

Une certaine diſpoſition de l'atmoſphére, & un concours de circonſtances qu'il ſeroit fort difficile de marquer avec préciſion, déterminent quelquefois une grande quantité de vapeurs groſſiéres à s'élever à-peu-près comme la roſée qui remonte : alors ces vapeurs qui s'élévent à peine, s'étendent uniformément dans la partie baſſe de l'atmoſphére, & la rendent opaque, tout le tems qu'elles y demeurent ſuſpendues.

Toutes ces vapeurs flottantes & baſſes, tant celles qui viennent de la

XI. LEÇON.

rosée du matin, que celles qui naissent dans d'autres tems, & d'une maniére différente, se nomment *Brouillards*. Ce n'est ordinairement que de l'eau; mais quelquefois il s'y mêle des exhalaisons qui se manifestent par leur mauvaise odeur, par une certaine âcreté qui prend aux yeux, & par le dommage qu'elles causent aux fruits & aux grains. Il régne en certaines années des brouillards ausquels on attribue la *nielle* & la *rouille*, maladies assez communes au froment & au seigle : quelques sçavans ont rejetté sur ces mêmes causes, ce qu'on remarque à certains épics dont le grain devient noir & s'allonge en forme de corne, & que les Laboureurs appellent *Ergot* ou *Bled cornu*; la farine en est pernicieuse; on lui attribue une maladie qui régne quelquefois dans les campagnes, & qui est connue sous le nom de *Feu Saint Antoine*; on prétend aussi qu'elle donne la gangrenne *.

En hyver les brouillards sont plus fréquens qu'en été, parce que le froid qui régne dans l'air, condense promptement les vapeurs, & ne leur

* *Hist. de l'Academ. des Scienc.* 1710. p. 61. *Journ. des Sçavans*, *Mars*, 1676.

donne pas le tems de s'élever beaucoup ; si le froid augmente, le brouillard se géle & s'attache aux branches des arbres, aux plantes séches, aux cheveux des voyageurs, aux crins des chevaux, & généralement à tout ce qui s'y trouve exposé ; c'est ce qu'on appelle *Givre* ou *Frimas*.

Quand les brouillards ou les vapeurs qui sont propres à les former, peuvent s'élever assez haut, il s'en fait des amas qui flottent au gré des vents dans l'atmosphére ; ce sont ces *nuées* que nous voyons suspendues de côtés & d'autres au-dessus de nous, & qui nous cachent de tems en tems le soleil & les autres astres par leur opacité ; leurs figures & leurs grandeurs varient à l'infini, selon la quantité des vapeurs qui les forment, & selon la maniére dont elles s'arrangent en s'unissant, ce qui dépend beaucoup de la direction & des différens degrés de vîtesses que les vents leur donnent.

Les nuées ne sont pas toutes également élevées, parce que, comme il faut qu'elles soient toujours en équilibre avec l'air dans lequel elles flot-

XI. LEÇON.

tent, & que ce fluide eſt plus rare à une plus grande diſtance de la terre, les vapeurs les plus ſubtiliſées peuvent ſe ſoutenir où les plus groſſiéres ſe trouveroient trop péſantes ; c'eſt pourquoi ces nuages épais qui ſont prêts à fondre en pluie ſont ordinairement fort bas. Ceux qui voyagent ſur les hautes montagnes, comme celles des Alpes ou des Pyrenées, paſſent ſouvent à travers des nuages qui dérobent la terre à leurs yeux, après leur avoir caché le ciel ; les moins attentifs ne manquent point d'obſerver qu'à ces hauteurs la terre eſt toujours fort humectée par les nuages qui viennent s'y briſer, ce qui contribue beaucoup à entretenir ces torrens & ces ſources qu'on voit ſi fréquemment au pied & aux environs de ces mêmes montagnes. Ainſi dans le tems même qu'il ne pleut point, les nuées ſont autant de voies d'eau que les vents diſtribuent en différentes contrées, & qui vont s'épuiſer contre les montagnes, d'où elles ſe répandent enſuite dans les plaines par les canaux ſouterrains que la nature y a pratiqués. Mais les nuées

ne s'épuisent pas toujours de cette maniére ; le plus souvent elles s'épaississent, soit par l'action des vents qui les poussent les unes contre les autres, soit par la condensation de l'air qui les porte ; & alors leurs parties réunies en gouttes deviennent trop pésantes, & font, en tombant, ce qu'on nomme *la Pluie*.

Lorsque cette condensation se fait lentement, ou que les vapeurs tombent seulement parce que l'air qui les soutient se raréfie, comme il arrive quelquefois après un brouillard du matin, les gouttes demeurent très-petites ; la pluie qu'elles forment est très-fine, & se nomme communément *Bruine*. Au contraire, quand les vapeurs se condensent précipitamment, & dans une partie peu élevée de l'atmosphére, où l'air a plus de densité, les gouttes acquiérent plus de grosseur, & elles demeurent plus écartées les unes des autres, comme on l'observe presque toujours dans les pluies d'orage.

Les refroidissemens qui se font dans la région des nuages, non seulement condensent les vapeurs & les conver-

XI. LEÇON.

tissent en pluies ; il arrive souvent que le froid est assez considérable pour les geler : elles tombent alors ou en *neige* ou en *grêle* ; en neige si la congélation saisit les vapeurs avant qu'elles se soient réunies en grosses gouttes ; car ces glaçons infiniment petits s'unissant mal entr'eux, ne peuvent composer que des flocons fort légers : en grêle, si les particules d'eau ont le tems de se joindre avant que d'être prises par la gelée.

La grêle ne devroit jamais être naturellement plus grosse que des gouttes de pluie ; si l'on en voit quelquefois tomber qui égale en grosseur une noix ou un œuf, c'est que plusieurs grains s'unissent ensemble en tombant ; ou bien lorsqu'ils ont reçu un degré de froid suffisant, ils gélent toutes les particules d'eau qu'ils touchent dans leur chûte ; & ils deviennent comme les noyaux de plusieurs couches de glaces qui augmentent beaucoup leur volume & leur poids. C'est pour cela que la grosse grêle est toujours fort anguleuse, & que les grains qui sont arrondis ne sont jamais d'une densité uniforme, depuis la surface jusqu'au centre.

XI. LEÇON.

On a vu, quoiqu'assez rarement, tomber en forme de pluie ou de grêle, des matiéres qui n'étoient point de l'eau. En 1695, il tomba en Irlande une pluie grasse & visqueuse qui demeura 14 ou 15 jours dans les endroits où elle s'étoit amassée, & qui devint noire en se séchant. Dans les mémoires de Breslaw *, il est fait mention d'une pluie de soufre qui mit l'allarme dans la ville de Brunswick. Les habitans de Copenhague, en 1649, ramassérent aussi du soufre dans les rues après une grosse pluie qui en avoit fortement l'odeur. Scheuchzer observa en 1677 une poudre jaune qui tomba abondamment, & qu'on auroit volontiers pris pour du soufre; mais en l'examinant avec attention, il se détermina à croire que cette matiére venoit de la fleur des jeunes pins, qui sont fort communs dans les environs du lac de Zuric, où il fit cette observation. On a vu des pluies de sable à une distance assez considérable de la mer; c'étoit sans doute un effet du vent ou de la tempête, comme les pluies de cendres & de pierres, si l'on peut les

* Octobre, 1721.

XI. LEÇON.

nommer ainſi, ſont cauſées par les éruptions des volcans.

Au reſte, quand il arrive de ces ſortes de phénoménes, on doit avant que de prononcer, les examiner avec beaucoup de circonſpection, & ne point céder précipitamment aux premiéres apparences; car ordinairement l'attention d'un obſervateur intelligent diſſipe une fauſſe merveille, & dévoile une vérité obſcurcie par les circonſtances. Si l'on jugeoit, par exemple, ſans autre examen, que tout ce qu'on apperçoit de nouveau ſur la terre, après ou pendant la pluie, vient, comme les gouttes d'eau, de la nuée ou de l'atmoſphére, on croiroit comme le vulgaire, qu'il pleut quelquefois des crapaux, du ſang, du grain, &c. Mais quand on ſçait que tous les animaux, juſqu'aux reptiles & aux inſectes, ont une génération réglée, & qui ſe fait toujours par les mêmes voies dans chaque eſpéce; que le crapau, à-peu-près comme la grenouille, vient d'un frai trop gros & trop péſant pour s'élever comme les vapeurs; & que la femelle qui le fait, & le mâle qui la féconde, ne peu-

vent

vent se soutenir en l'air ; on trouve qu'il est plus raisonnable de penser, que tous ces petits animaux nouvellement éclos, & cachés sous des herbes ou ailleurs, sont déterminés par la pluie à sortir de leurs retraites, que de croire qu'ils viennent de naître fortuitement, & qu'ils ont pû tomber contre la terre la plus dure & la plus battue, sans s'écraser.

Des taches rouges, dont les murailles & les couvertures des maisons se sont trouvées teintes en différens tems, ont fait croire au peuple ignorant & préoccupé par la crainte, qu'il avoit plu du sang ; les Historiens * même n'ont pas manqué de transmettre à la postérité ces phénoménes effrayans, & de les joindre à des événemens contemporains, jusqu'à ce qu'enfin quelques Sçavans * plus attentifs remarquerent, que la prétendue pluie de sang avoit marqué des endroits couverts, comme le dessous des entablemens des portes & des fenêtres, & qu'immédiatement après, l'air se trouvoit rempli d'une multitude innombrable d'insectes d'une même espéce.

* *Plutarque, Dion, Tite-Liv. Pline, &c.*

* *Peiresc. Meret.*

XI. LEÇON.

La premiere de ces deux obſervations prouve d'abord & ſans réplique que les taches rouges n'étoient point les veſtiges d'une pluie qui fût tombée d'en-haut. La ſeconde fit connoître avec le tems quelle étoit leur véritable origine : voici comment on expliqua le fait après un peu de réflexion.

Quand un papillon ſort de ſa chryſalide, il dépoſe toujours deux ou trois gouttes d'une ſéroſité rouge qui reſſemble aſſez à du ſang ; or il y a telle circonſtance de tems, où il en naît un nombre prodigieux, car cette eſpéce d'inſectes, comme la plûpart des autres, eſt extrêmement féconde, & ſi tous les œufs venoient à bien, nous en ſerions fort incommodés : on ſe ſouvient encore du dommage que cauſa une ſeule eſpéce de chenille aux environs de Paris, pendant l'été de 1735 ; il ne reſta point de légumes dans les marais, & juſqu'au gramen, tout fut rongé dans les jardins & dans les champs. Lors donc qu'un pareil nombre de chenilles devenues chryſalides ſe changent en papillons, combien ne doit-on

pas voir de taches rouges, quand c'eſt une eſpéce qui s'attache aux murs & aux bâtimens ; car il y en a beaucoup qui ſe mettent en terre, ou qui ſe branchent aux tiges des plantes, & alors on n'apperçoit preſque point les traces de leur métamorphoſe. XI. LEÇON.

Les pluies de grains n'ont pas plus de réalité que celles de ſang. Il eſt vrai qu'on a vû quelquefois après une groſſe pluie, la terre couverte d'une grande quantité de menus grains qui ont une ſorte de reſſemblance avec le froment : les payſans qui les ont ramaſſés, & qui ont eſſayé d'en faire du pain, n'ont pas manqué de croire qu'il étoit tombé du ciel, & ſuivant la maniére de penſer du peuple, ils en ont tiré des conjectures ſur la diſette ou ſur l'abondance ; mais des perſonnes plus éclairées, & moins ſuſceptibles de préjugés, ont reconnu que ces grains étoient des petites bulbes, qui ſe forment en grande quantité aux racines d'une eſpéce de renoncule qu'on nomme *la petite chelidoine*, & alors tout le merveilleux diſparoît : car on ſçait que les racines

XI. LEÇON.

de cette plante ſont très-déliées, & à fleur de terre ; ce ſont de petits filets rampans, qui ſe deſſéchent, & qui diſparoiſſent ; & leurs bulbes qui ont plus de conſiſtance, demeurent iſolées, & reſſemblent un peu à des grains répandus ſur la terre.

Comme les nuées ſont des amas de vapeurs, il s'en fait plus que par-tout ailleurs au-deſſus des mers & des grands lacs, où l'évaporation eſt plus abondante. C'eſt pourquoi, toutes choſes égales d'ailleurs, les pluies ſont plus fréquentes dans le voiſinage des côtes, que dans le milieu des continens ou des grandes iſles. En Hollande, par exemple, il y pleut communément davantage qu'aux environs de Paris ; & quand le vent eſt au Sud ou à l'Oueſt, nous avons ordinairement un tems pluvieux à cauſe de la méditerranée & de l'Océan, dont nous ne ſommes point fort éloignés.

On meſure continuellement à l'Obſervatoire Royal, la quantité de pluie qui tombe pendant le cours de l'année, comme on fait depuis long-tems en Angleterre, en Italie, en Hollan-

de, & dans plusieurs villes d'Allemagne. Ces sortes d'observations se font par le moyen d'un vase quarré ou cylindrique, gradué par dedans selon sa hauteur, que l'on expose dans un lieu découvert, mais cependant à l'abri du vent. Chaque fois qu'il pleut, on marque sur un journal de combien de lignes l'eau s'est élevée dans le vaisseau ; & au bout de l'année, en additionnant toutes ces quantités, on voit quelle est la somme totale de la pluie qui a tombé pendant les douze mois. En procédant ainsi, on a appris que dans les années moyennes il tombe à Paris environ 19 pouces d'eau ; à Londres 37 pouces $\frac{1}{2}$ mesure d'Angleterre, ce qui fait environ 35 pouces de France ; à Rome 20 pouces ; à Zuric en Suisse 32 pouces ; à Utrecht 24 pouces *.

XI. LEÇON.

La pluie purifie l'atmosphére, en précipitant avec elle toutes les exhalaisons qui s'y amassent pendant la sécheresse, & dont la trop grande quantité corromproit l'air, & causeroit des maladies épidémiques. On s'apperçoit sensiblement de cet effet,

* *Environ 23 pouces, mesure de France.*

XI. LEÇON.

non ſeulement parce qu'on reſpire plus à ſon aiſe, mais encore parce que l'air devient plus tranſparent; les objets s'apperçoivent plus diſtinctement & de plus loin, & jamais les lunettes à longue vûe ne font auſſi-bien qu'après une groſſe pluie, & par un tems calme.

Un autre effet de la pluie, & qui nous eſt encore très-avantageux, c'eſt de rafraîchir l'air, & de modérer la chaleur, qui nous incommode ſouvent dans certaines ſaiſons. On en reconnoît bientôt la cauſe, quand on ſçait que la région des nuages eſt preſque toujours beaucoup plus froide, que cette partie de l'atmoſphere où nous ſommes. C'eſt un fait que ne peuvent ignorer ceux qui ont vû la cime des montagnes couverte de neige, lorſqu'il fait encore aſſez chaud dans les lieux bas. Ainſi, quand il pleut en été, c'eſt de l'eau froide qui ſe filtre à travers d'un air plus chaud qu'elle; celui-ci perd néceſſairement une partie de ſa chaleur.

Mais de tous les bons effets de la pluie, il n'en eſt pas dont nous ayons plus de beſoin, & qui tourne plus

directement à notre avantage que la part qu'elle a à la fertilité de la terre : quand elle manque trop long-tems, & que rien n'y supplée, tout devient aride dans les champs, & leur culture demeure sans succès ; mais lorsqu'elle les arrose modérément, elle amollit la terre, elle entretient la souplesse des plantes, elle développe les germes, elle réunit les principes de la seve, & lui sert de véhicule pour l'introduire dans les racines, & pour la distribuer à la tige & aux branches.

XI. LEÇON.

Comme les vapeurs qui doivent retomber en pluie, élévent avec elles ou rencontrent dans l'atmosphére, les parties les plus subtiles de toutes ces substances que la nature fait entrer dans la composition des mixtes, les sels, les soufres, les huiles, &c. les nuages agités par les vents, transportent tous ces principes d'un lieu dans un autre, & les distribuent de maniére qu'ils ne tarissent jamais. C'est donc pour leur donner le tems de se rassembler, qu'on laisse reposer les terres épuisées, ou qu'on y varie les sémences : car une plante peut souvent se passer de ce qu'une autre tire de la terre.

XI. LEÇON.

Les pluies peuvent avoir aussi de mauvais effets, comme elles en ont de bons ; lorsqu'elles sont froides ou trop fréquentes, lorsqu'elles tombent hors de saison, elles retardent les progrès de la végétation, & la maturité des fruits ; elles pourrissent les moissons & font germer le grain sur les champs ; elles font périr le gibier ; elles gâtent les chemins ; elles rendent impratiquable la navigation des riviéres, par les débordemens & les inondations qu'elles causent ; & tous ces fâcheux effets incommodent le commerce & occasionnent la disette.

On voit assez souvent sur mer, & beaucoup plus rarement sur terre, un phénoméne surprenant & très-dangereux, qu'on appelle *Trombe* : c'est une nuée épaisse, qui s'allonge de haut en bas, en forme de colonne cylindrique ou de cône renversé ; elle jette autour d'elle beaucoup de pluie ou de grêle, & fait entendre un bruit semblable à celui d'une mer fortement agitée ; elle renverse les arbres & les maisons partout où elle passe, & lorsqu'elle s'abat sur un vaisseau, elle ne manque guéres de le submer-

ger. Les gens de mer qui connoissent ce danger, s'en éloignent le plus qu'ils peuvent; & quand ils ne peuvent éviter d'en approcher, ils tâchent de la rompre à coups de canon, avant que d'être dessous, pour prévenir l'inondation dont ils sont menacés. Peu d'observateurs ont eu le loisir d'examiner de près ces sortes d'accidens, & par cette raison, l'on n'est pas encore bien instruit de la maniére dont ils naissent. On croit * avec assez de vraisemblance que la nuée déterminée à tourner par la double impulsion de deux vents contraires, & dont les directions sont paralléles, prend la forme d'un tourbillon d'eau, qui s'allonge & s'élargit plus ou moins, suivant la vîtesse avec laquelle il tourne, & suivant l'étendue en hauteur des vents qui l'agitent.

* *Hist. de l'Acad. des Scienc.* 1727. p. 5.

J'aurois encore bien des choses à dire touchant les météores aqueux; mais je passerois les bornes que je me suis prescrites dans un ouvrage, où je me suis moins proposé de donner une histoire complette des effets naturels, que d'exposer les causes de

XI. LEÇON.

ceux qui ſont les plus connus & les plus intéreſſans: le Lecteur qui déſirera d'en ſçavoir davantage, pourra conſulter les Auteurs* qui ont écrit ſur cette matiére *ex profeſſo*, & les Mém. des principales Académies, où l'on trouve un recueil d'Obſervations Météorologiques pour chaque année.

* *Stanhuſius, Reſta, Dechales, Geſten, Muſch. &c.*

ARTICLE II.

De l'atmoſphére conſidérée comme un Fluide en mouvement.

On obſerve principalement deux ſortes de mouvemens dans l'air de l'atmoſphére : l'un eſt une eſpéce de frémiſſement imprimé aux parties de ce fluide, & qui les agite quelques inſtans, ſans les déplacer ; (*a*) l'autre eſt un déplacement ſucceſſif qui

(*a*) On pourroit dire contre cette définition que le bruit du canon caſſe les vîtres d'un appartement voiſin, ce qui ne ſe peut faire ſans un déplacement ſenſible de la maſſe d'air qui les touche, & qui les enfonce ; mais on verra aiſément par tout ce qui ſera expoſé dans cet article, que cette commotion violente de l'air peut bien quelquefois accompagner le ſon ou le bruit, mais qu'elle ne lui eſt point eſſentielle, & qu'elle ne ſe rencontre pas dans les cas les plus ordinaires.

ſe fait d'un grand volume d'air, avec une vîteſſe ſenſible & une direction déterminée. Le premier de ces deux mouvemens s'appelle *ſon* ; le dernier eſt ce qu'on nomme le *vent*.

Du Son en général.

Le ſon naît communément du choc ou de la colliſion de deux corps, dont les parties ébranlées font frémir comme elles, & de toutes parts juſqu'à une certaine diſtance, le fluide qui les environne; & ce frémiſſement ſe communique aux autres corps qui en ſont ſuſceptibles, & qui ſe rencontrent dans cette ſphére d'activité ; de ſorte que la même cloche que l'on fait ſonner, peut ſe faire entendre à un nombre infini de perſonnes placées aux environs. On peut donc conſidérer le ſon, 1°. dans le corps ſonore, 2°. dans le milieu qui le tranſmet, 3°. dans l'organe qui en reçoit l'impreſſion. On pourroit encore tenter de le ſuivre juſque dans l'ame qui en perçoit l'idée ; mais c'eſt une entrepriſe qui appartient à la Métaphyſique, & qui n'eſt point de mon reſ-

XI. LEÇON.

ſort : j'en uſerai pour l'ouie, comme j'ai fait pour les autres ſens ; je me contenterai de conduire l'objet juſqu'à la partie de l'organe, où s'accomplit la ſenſation, & je me diſpenſerai d'examiner comment naiſſent les idées, à l'occaſion de l'objet ſenſible.

Des Corps Sonores.

On appelle *Corps Sonores* proprement dits, ceux dont les ſons, après le choc ou le frottement qui les fait naître, ſont diſtincts, comparables entr'eux, & de quelque durée. Car on ne doit pas nommer ainſi ceux dont la chûte ou l'ébranlement ne fait entendre qu'un bruit confus ou ſubit, tels qu'un tombereau que l'on décharge, le murmure d'une eau courante, ou le mugiſſement des flots agités. Or on remarque qu'il n'y a que les corps élaſtiques qui ſoient véritablement ſonores, ſuivant cette définition ; & que le ſon qu'ils rendent, eſt toujours proportionnel à leurs vibrations, ſoit pour la durée, ſoit pour l'intenſité ou force.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 2. représente une cloche de verre suspendue fixement entre deux montans qui sont élevés sur une base; on frappe légérement plusieurs coups sur les bords de cette cloche, pour la faire sonner ; & aussi-tôt on fait avancer la vis *A* qui a son écrou dans l'épaisseur du montant : & on la fait avancer, jusqu'à ce que le bout soit fort près de la cloche sans la toucher.

EFFETS.

On entend un petit frémissement du verre contre la pointe de la vis, & ce bruit dure autant que le son de la cloche subsiste.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On attache à deux points fixes une corde de clavecin ou de vielle, qui a environ deux pieds de longueur, & avec un curedent ou une épingle, on appuye dessus le milieu pour la mettre en jeu.

EFFETS.

Pendant que la corde résonne, on l'apperçoit sous la figure d'un parallélogramme, *BCDE*, *Fig*. 3. & cette figure cesse avec le son, dès qu'on la touche avec le doigt, ou avec quelqu'autre corps solide.

EXPLICATIONS.

On peut regarder une cloche comme une suite de zones circulaires, dont les diamétres décroissant suivant une certaine proportion, sont représentés par les lignes ponctuées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, *Fig*. 4. & chaque zone, par rapport à son épaisseur, comme un anneau plat composé de plusieurs circonférences concentriques, *Fig*. 5. Ce que je dirai d'un de ces anneaux plats, doit s'entendre de toutes les zones.

Si la matiére de la cloche n'étoit point poreuse, toutes les circonférences concentriques qui composent la largeur d'un anneau, & qui font l'épaisseur de la cloche, seroient autant de lignes pleines & sans interruption, comme les représente la

Fig. 5. Mais comme les parties qui les composent, laissent entr'elles de petits intervalles, ces anneaux sont représentés par la *Fig.* 6. d'une maniére plus conforme à la nature.

XI. LEÇON.

Maintenant qu'on se rappelle ce que nous avons dit * en expliquant le mouvement réfléchi ; « Qu'une » boule élastique qui tombe sur un » marbre, perd sa figure sphérique, » & ne la reprend qu'après avoir été » quelque tems un ellipsoïde, dont » le grand diamétre est de deux fois » une, horizontal & vertical. » Il suit de-là que, quand on frappe extérieurement le bord d'une cloche qui est un anneau élastique *a*, *b*, *c*, *d*, *Fig.* 7. il devient alternativement ovale sur deux sens ; & c'est en cela même que consistent ses vibrations. Ainsi la même partie de la cloche *a*, par exemple, se portant d'*f* en *g*, & de *g* en *f*, successivement avec une grande vîtesse, heurte autant de fois le bout de la vis, & fait entendre ce frémissement qui a été le principal effet de la premiére expérience.

* Tom. I. p. 311.

Mais cet anneau circulaire ne peut devenir ovale qu'à deux conditions:

XI. LEÇON.

1ment. Il faut qu'à deux endroits opposés de sa circonférence, les petites lames, ou les petits filets qui le composent, se plient d'abord davantage, & ensuite moins qu'ils ne le sont, lorsqu'ils composent un cercle : 2ment. Il est nécessaire qu'aux endroits de la plus grande courbure, celles de ces parties qui forment les couches extérieures, s'écartent les unes des autres, plus qu'elles ne le sont dans leur état ordinaire.

Quant à la corde tendue, il faut aussi se souvenir de ce que nous en avons dit* en parlant des loix du ressort, « que ses vibrations qui nous la » font voir sous la figure d'un paral- » lélogramme, (parce qu'elles sont toujours très-promptes, & que les impressions qui nous la représentent, faisant un angle en-haut, subsistent encore au fond de l'œil, lorsqu'il en naît d'autres qui nous la font voir, faisant un angle en bas ;) « que ces » vibrations, dis-je, se font en con- » séquence de la réaction de toutes » les petites fibres, dont elle est com- » posée. » Car lorsque cette corde devient angulaire, elle est plus lon-

* Tome I. p. 309.

gue

gue que quand elle tend en droite ligne d'un point fixe à l'autre. Il faut donc que ses moindres parties s'écartent un peu les unes des autres, pour se prêter à cet allongement, & qu'elles se rapprochent, pour se réduire dans la premiére longueur.

Ainsi dans la corde, comme dans la cloche, lorsqu'on excite le son, je conçois deux sortes de vibrations, les unes que j'appellerai *totales*, parce qu'elles sont du corps sonore tout entier, je veux dire, celles qui rendent les zones de la cloche ovales, de circulaires qu'elles sont, & qui nous font voir une corde de violle ou de clavecin sous la figure d'un parallélogramme ; les autres que je nommerai *particuliéres*, qui appartiennent aux parties insensibles, & qu'on peut regarder comme les élémens des premiéres.

On avoit toujours cru que les corps étoient sonores par leurs vibrations totales; mais on s'est désabusé de cette fausse idée, & c'est principalement à MM. Perault, Carré & de la Hire, qu'on doit cette correction. Le dernier de ces trois Académiciens prou-

XI. LEÇON.

ve par une expérience bien ſimple, que le ſon conſiſte eſſentiellement dans les vibrations particuliéres des parties inſenſibles : « Que l'on tienne, dit-il, * une pincette ſuſpen-» due ſur le doigt, & qu'avec l'autre » main on preſſe les deux branches » pour les laiſſer échapper enſuite ; » elles ſe mettent en vibrations, mais » elles demeurent muettes : au lieu » de les mettre en jeu de cette ma-» niére, qu'on frappe deſſus avec un » doigt ou avec quelqu'autre corps » ſolide, elles feront encore des » vibrations comme dans la premiére » épreuve, mais pour cette fois elles » auront un ſon très-intelligible : » qu'y a-t-il de plus ici, ſinon un » tremblement dans les parties du fer, » & que l'on ſent quand on y porte » doucement la main ? »

* *Voyez les Mém. de l'Acad. pour l'année* 1716. p. 264.

C'eſt donc à des parties qui frémiſſent que le ſon doit être attribué; & après cette expérience on doit être perſuadé, que toutes les fois qu'il ſera poſſible de ſéparer ces deux eſpéces de vibrations, on n'aura jamais aucun ſon avec celles que nous appellons totales; mais quand celles-ci naiſſent

des autres, (& c'eſt le cas le plus ordinaire) quoiqu'elles ne faſſent point le ſon par elles-mêmes, elles en réglent cependant la force, la durée & les modifications. XI. LEÇON.

APPLICATIONS.

L'explication des deux expériences précédentes peut ſervir à rendre raiſon de pluſieurs faits qui ont rapport à cette matiére, & qui méritent attention. Pourquoi, par exemple, fait-on les cloches d'un métal composé d'étain & de cuivre rouge? C'eſt que tout métal composé eſt plus dur, plus roide, & par conſéquent plus élaſtique que les métaux ſimples qui entrent dans le mélange : & comme les corps ſonores le ſont d'autant plus que leurs parties ont plus de reſſort, on allie la matiére des cloches & des timbres pour en tirer plus de ſon. La plûpart des ſonnettes cependant ne ſont que de cuivre ; mais c'eſt un mauvais cuivre, un métal devenu aigre que les ouvriers appellent *Potain*: comme cette matiére eſt fort roide & caſſante, elle eſt plus ſonore que ne ſeroit un cuivre neuf & plus doux qu'on nomme *Roſette*. Quand on fait

XI. LEÇON.

des ſonnettes d'argent pour les cabinets, elles ne peuvent avoir qu'un aſſez mauvais ſon, ſi le métal eſt ſans alliage, ou ſi l'on n'y ſupplée, en le forgeant à froid, ce qui lui donne plus de reſſort.

On fait ſubitement ceſſer le ſon d'une cloche, en la touchant avec la main ou avec quelqu'autre corps, parce qu'on interrompt les vibrations. C'eſt pour cela que les timbres des horloges, lorſqu'ils ſont couverts de neige, ne ſonnent que ſourdement, ainſi que les tambours que l'on couvre d'étoffe dans les cérémonies lugubres. Par la même raiſon une cloche fendue ne peut continuer ſes vibrations, parce que les bords de la fente ſe heurtent réciproquement, & font, l'un à l'égard de l'autre, ce que pourroit faire un corps étranger qui toucheroit la cloche. Le ſon ſeroit probablement moins interrompu, ſi au lieu d'avoir une ſimple félure, elle étoit entr'ouverte de la largeur d'un travers de doigt ou davantage. On peut remarquer encore que les Horlogers ont toujours ſoin que les marteaux des timbres ſoient rele-

vés ſubitement après le coup par un reſſort, afin que le même corps qui a excité le ſon ne l'altére pas, en reſtant trop long-tems appliqué au corps ſonore.

Puiſque le ſon n'eſt jamais qu'une ſuite de vibrations, on doit concevoir qu'il n'y en a point qui ſoit abſolument continu ; s'il nous paroît tel, c'eſt que le ſilence d'une vibration à l'autre eſt trop court pour être apperçu. Rien n'eſt plus propre à faire ſentir cette vérité qu'un inſtrument à anche, comme le haut-bois ou la muſette : une anche eſt compoſée de deux lames à reſſort & fort minces, de métal, de bois, ou de quelque autre matiére ; elles ſont jointes par un bout, & forment enſemble un petit tuyau ; par l'autre bout elles ſont plattes, & s'approchent de fort près ſans ſe toucher. Lorſque le ſouffle de la bouche ou le vent d'un ſoufflet met l'anche en jeu, les deux lames battent l'une contre l'autre avec une vîteſſe extrême, & rendent un ſon qui paroît auſſi continu que celui d'une flûte ou d'un violon. Cependant puiſque ce ſon vient des coups multipliés

XI. LEÇON.

d'une lame ſur l'autre, il eſt inconteſtable qu'il y a un petit intervalle entre les battemens, & que le ſon qu'elles rendent n'eſt point continu.

C'eſt une méchanique aſſez ſemblable à celle d'une anche, qui fait la voix de la plûpart des inſectes; car c'eſt une erreur de croire que le bourdonnement des mouches, le cri des cigales, celui des ſauterelles & des grillons, vienne de la bouche de ces petits animaux, ou des organes par leſquels ils prennent leur nourriture: dans les uns c'eſt un certain battement des aîles; dans les autres, c'eſt le jeu d'une eſpéce de tambour, qu'ils ont quelquefois dans le ventre, comme la cigale, & d'autres fois ſur le dos vers le corcelet, comme il eſt aiſé de l'obſerver à certaines ſauterelles qui ſe retirent dans les buiſſons, & qui n'ont point d'aîles.

Mais le ſon doit-il toujours ſon origine au choc ou aux battemens de deux corps ſolides, comme celui d'une cloche qui eſt frappée par un marteau, ou celui d'une corde qui eſt pincée avec l'ongle, ou avec le bout d'une plume? Les fluides ne ſeroient-

ils point ſonores par eux-mêmes ? ou bien ceux-ci frappés par des corps durs, ne ſeroient-ils pas capables de rendre des ſons ?

On ſçait à quoi s'en tenir ſur ces queſtions, quand on réfléchit un peu ſur certains effets qui ſe préſentent journellement. Un coup de fouet qu'un charretier ou un poſtillon fait retentir, le bruiſſement d'une petite planchette qu'un enfant fait tourner rapidement au bout d'une ficelle, le ſifflement d'une baguette que l'on ſecoue avec une grande vîteſſe, qu'eſt-ce autre choſe que le ſon de l'air frappé par un corps dur ? dans tous ces cas, & dans une infinité d'autres, c'eſt donc un fluide qui réſonne, & dont les parties ſe mettent en vibrations pour avoir été choqués par un corps ſolide. Dans le ſon d'un ſifflet, ou d'une flûte, je ne vois rien autre choſe qu'un certain volume d'air qui part de la bouche du joueur pour frapper une autre maſſe d'air contenue dans l'inſtrument : car je penſe que les vibrations du bois n'y entrent pour rien, (ſi ce n'eſt peut-être pour tranſmettre, avec plus ou moins d'é-

XI. LEÇON.

clat, le ſon qui eſt déja formé.) Ce qui me fait croire que les vibrations de la flûte ne participent point à la formation des ſons qu'elle rend, c'eſt qu'on la tient & qu'on la touche pendant qu'elle eſt en jeu, & que ſes vibrations, ſi elle en avoit, ceſſeroient par ces attouchemens. L'inſtrument ne ſert donc, pour ainſi dire, que de meſure & d'enveloppe au volume d'air ſur lequel on ſouffle ; & l'on peut dire que tous les cas qui reſſemblent eſſentiellement à celui-ci, ſont autant d'exemples de ſon rendu par des fluides qui s'entrechoquent.

Il y a des gens, comme on ſçait, qui caſſent un verre à boire par le ſon de leur voix, en préſentant l'ouverture de la coupe devant leur bouche. Ce n'eſt pas, comme l'ont cru certaines perſonnes peu au fait de cette matiére, en prenant un ton aigre & diſſonant, ni comme l'a prétendu un Auteur * (qui a fait une diſſertation entiére ſur ce fait,) que l'air agité par la voix pénétre le verre, & le force de s'ouvrir. C'eſt au contraire en prenant l'uniſſon du verre, & ſeulement en forçant la voix ; car alors on augmente

* *Morhoff. de Siph. vitr. per cert. humanæ vocis ſonum fracto.*

mente la grandeur des vibrations totales, & par conséquent celles des vibrations particuliéres d'où elles résultent : mais comme ces derniéres ne peuvent se faire, sans que les parties du verre s'écartent les unes des autres, lorsqu'elles deviennent trop grandes, l'écartement de ces parties va jusqu'à séparation ou solution de continuité, & alors le verre tombe en piéces ; en un mot la voix forcée fait sur le verre, ce que fait un archet que l'on traîne trop fort sur une chanterelle. C'est encore ici un exemple du son excité, ou du moins augmenté, dans un corps solide par le choc d'un fluide.

Du MILIEU qui transmet les sons.

Les vibrations d'un corps sonore se passeroient dans un parfait silence, s'il n'y avoit entre lui & nous quelque matiére capable de recevoir & de transmettre cette espéce de mouvement : car tel est l'ordre de la nature, qu'un corps n'agit point sur un autre, s'il ne le touche par lui-même ou par quelque matiére interposée ; &

XI. LEÇON.

de tous ceux qui ont imaginé des exceptions à cette loi générale, on peut dire qu'aucun n'en a encore donné des preuves suffisantes. Mais quand bien même le corps sonore agiroit sur une matiére, la propagation du son n'auroit pas encore lieu, si cette matiére inflexible ou trop molle n'étoit capable de s'animer du même mouvement que lui. Voici donc deux conditions également nécessaires & suffisantes dans le milieu qui doit transmettre le son : 1ment, il doit avoir une certaine densité, afin que ses parties agissent assez fortement & assez librement les unes sur les autres : 2ment, il doit être élastique, parce que le mouvement de vibration naît du ressort des parties. Les expériences qui vont suivre serviront de preuves à ces deux propositions.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On établit sur la platine d'une machine pneumatique, *Fig.* 8. un petit mouvement d'horlogerie, qui, lorsqu'il est en jeu, fait mouvoir deux

marteaux qui battent alternativement sur un timbre. Cet instrument est monté sur une base de plomb, qui est garnie par-dessous d'un coussinet rempli de coton ou de laine (*a*); on couvre le tout d'un récipient qui est garni par en haut d'une boëte à cuirs: la tige de métal qui passe à travers, sert à détendre le petit lévier *F*, pour mettre le rouage en mouvement, aussi-tôt qu'on a raréfié l'air du récipient le plus qu'il est possible.

EFFETS.

Si l'air est suffisamment raréfié, & que la tige de la boëte à cuirs ne touche plus au lévier de la détente, on voit battre les marteaux sans entendre aucun son; mais si l'instrument touche à la platine, au récipient ou à quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors, comme la tige qui a servi à détendre le lévier, on entend un peu le tact des marteaux.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut fixer une montre à réveil sur

(*a*) Cet instrument est représenté plus en grand, *Tome I. 3e Leçon, Planche 2. Fig. 5.*

XI. LEÇON.

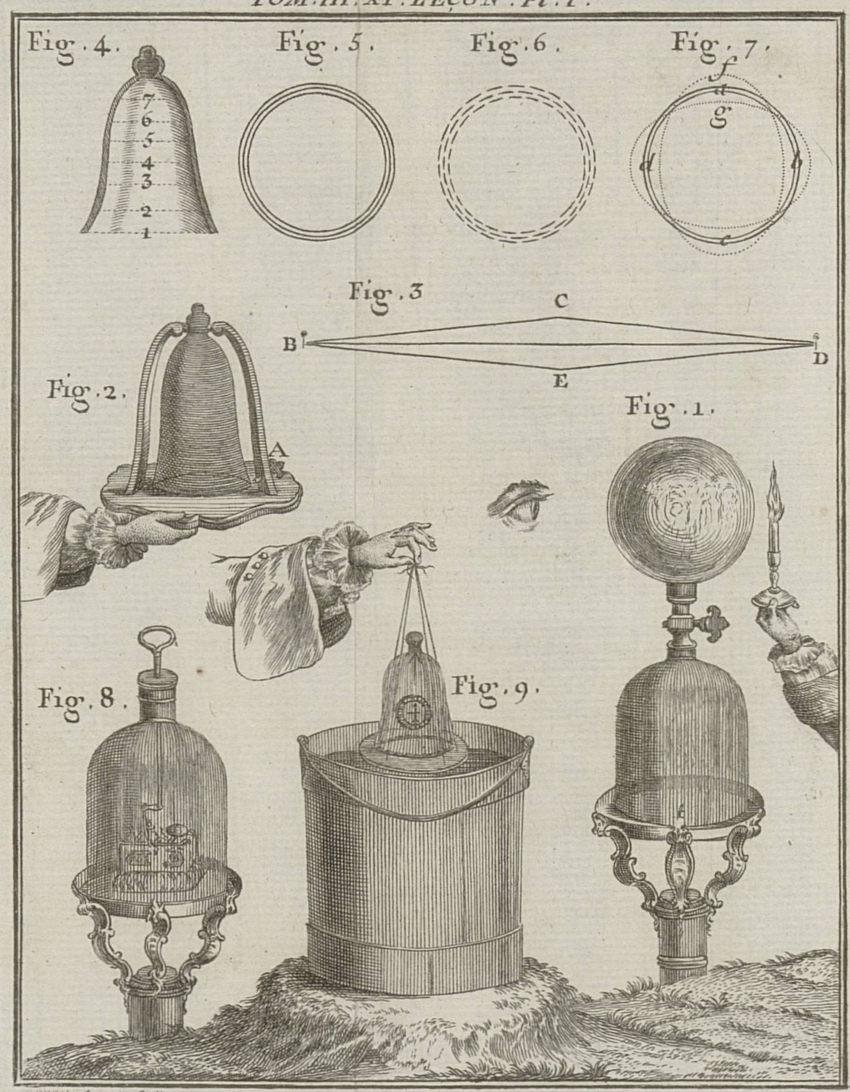
une platine de plomb épaiſſe de 4 à 5 lignes, que l'on couvre enſuite d'un petit récipient dont on lute les bords ſur le plomb avec de la cire molle : on ſuſpend enſuite cet aſſemblage avec 4 fils qu'on réunit au-deſſus du récipient, pour le plonger dans un grand vaſe cylindrique qui contient environ 30 pintes d'eau, que l'on a purgée d'air. *Voyez la Fig. 9.*

EFFETS.

Lorſque le réveil vient à ſonner, on l'entend quoiqu'il ſoit environné de pluſieurs pouces d'eau de toutes parts ; mais le ſon paroît fort affoibli.

EXPLICATIONS.

Un timbre qui fait ſes vibrations dans le vuide, ne les peut communiquer à rien ; par conſéquent, puiſqu'elles n'opérent le ſon que quand elles ſe tranſmettent, elles doivent ſe paſſer dans le vuide avec un profond ſilence. A la vérité il n'y a point un vuide abſolu dans le récipient de notre expérience ; mais l'air qui y reſte eſt ſi raréfié, que ſes parties alors trop lâches n'ont point aſſez



Brunet. De. et. fecit

de réaction. Il manque à ce fluide la première des deux conditions que nous avons marquées ci-dessus, c'est-à-dire, une densité suffisante qui mette les parties en état d'agir fortement les unes sur les autres.

XI. LEÇON.

On dira peut-être qu'au défaut de l'air grossier, il y a toujours dans ce vaisseau une matiére plus subtile, ne fût-ce que celle de la lumiére ou du feu ; mais apparemment que cette matiére, telle qu'elle soit, n'est point propre à la propagation du son, soit que son ressort ne soit point analogue à celui des corps sonores, soit que ceux-ci n'ayent point de prise sur elle, à cause de l'extrême facilité avec laquelle elle pénétre tous les corps.

Cette expérience du timbre ou d'une sonnette dans le vuide, si connue & tant répetée dans les colléges, a fait conclure à bien des gens, que l'air est le seul milieu propre à la propagation du son. Qu'il y soit propre & plus qu'un autre, cela n'est point douteux ; qu'il soit le seul, je crois que c'est trop dire. Car pourquoi cette même expérience ne réussit-elle pas au gré de ceux qui la font, quand

XI. LEÇON.

ils n'ont pas soin d'isoler le corps sonore, ou d'empêcher qu'il ne touche immédiatement la platine, le récipient ou quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors ? n'est-ce point parce que le son se transmet par les corps solides qui ont communication d'une part avec le timbre, & de l'autre avec l'air extérieur ?

D'ailleurs la quatriéme expérience ne nous laisse, ce me semble, sur cela aucun doute. Si le son ne pouvoit se transmettre que par l'air, pourquoi l'entendroit-on lorsque le corps sonore enfermé par le verre & par le plomb, se trouve plongé dans un vase plein d'eau ? n'est-on pas forcé de reconnoître que le son se communique du réveil à l'air qui l'environne, de l'air au récipient, du récipient à l'eau, & de l'eau à l'air extérieur ?

Dira-t-on que cette communication ne se fait point par les parties propres du verre & de l'eau, mais par celles de l'air qu'ils contiennent, & qui se trouve naturellement dans tous les corps ?

J'ai prévenu cette objection en me servant d'eau purgée d'air : & quand

on m'objecteroit encore, que l'on n'ôte jamais tout l'air qui eſt dans l'eau ; j'aurois à répondre, que j'en ai ôté une grande partie, & que ſi cet air contribuoit néceſſairement à la propagation du ſon, je devrois au moins trouver une différence ſenſible, en répétant la même expérience avec pareille quantité d'eau non purgée d'air ; ce que je n'ai cependant jamais apperçu, quelqu'attention que j'aye apporté.

Si quelque raiſon pouvoit faire douter que les parties de l'eau fuſſent capables par elles-mêmes de tranſmettre les ſons, ce ſeroit l'opinion où l'on eſt communément, que les liqueurs ne ſont point compreſſibles; car ſi cela étoit à la rigueur, elles n'auroient pas de reſſort ; & tout corps qui n'eſt point élaſtique, n'eſt point ſuſceptible d'un mouvement de vibration.

Mais ſur quel fondement a-t-on crû juſqu'ici que les liqueurs étoient incompreſſibles ? C'eſt parce que les Académiciens de Florence, & pluſieurs autres Phyſiciens qui les ont éprouvées à cet égard, n'ont jamais

XI. LEÇON.

pu reſtraindre leur volume par compreſſion. Mais cela ſuffit-il pour établir ſans reſtriction que les liquides ſont incompreſſibles ? n'auroit on pas conclu plus ſagement, que ſi elles ſe compriment par les efforts que nous ſommes en état d'employer contre elles, c'eſt d'une ſi petite quantité, que leur volume n'en diminue jamais ſenſiblement ?

Aucun fait connu ne prouve donc l'incompreſſibilité abſolue de l'eau ; j'ai expoſé ailleurs * des raiſons qui combattent fortement cette opinion; & il me ſemble que notre derniére expérience achéve de la détruire : car ſi l'eau tranſmet le ſon, elle eſt élaſtique ; & ſi elle eſt élaſtique, il faut qu'elle ſoit compreſſible.

* *Tome I. pag. 122. & ſuiv.*

APPLICATIONS.

Puiſque le ſon ſe tranſmet par les corps ſolides, comme le prouvent d'une maniére inconteſtable les précautions qu'il faut prendre, pour faire réuſſir la premiére des deux expériences précédentes ; on ne doit plus être auſſi ſurpris d'un fait qui amuſe les enfans, & qui intéreſſe l'attention

des personnes les plus sérieuses ; c'est d'entendre distinctement le choc d'une épingle contre l'extrémité d'une longue poutre, lorsqu'on a l'oreille à l'autre bout : car à cause de la contiguité des parties, ce choc est rendu à l'air qui touche le bout opposé de la piéce de bois. Il est cependant toujours bien singulier que le bruit perde si peu de sa force pour parvenir à une si grande distance, tandis qu'à peine peut-il être entendu à travers l'épaisseur de la même poutre ; c'est apparemment parce que les fibres longitudinales du bois sont bien moins interrompues par leur porosité, que ne l'est l'assemblage de ces mêmes fibres, qui fait l'épaisseur de la piéce.

Non seulement le son excité dans l'eau se transmet à l'air de l'atmosphére, mais aussi celui qui naît dans l'air passe dans l'eau, & y fait sentir toutes ces modifications. J'ai eu la curiosité de me plonger exprès à différentes profondeurs dans une eau tranquille, & j'y ai entendu très-distinctement toutes sortes de sons, jusqu'aux articulations de la voix humaine.

XI. LEÇON.

Il eſt vrai que tous ces ſons étoient fort affoiblis, ſans doute parce que les parties de l'eau, beaucoup moins flexibles que celles de l'air, ne peuvent avoir des vibrations ni ſi amples ni d'une ſi longue durée : mais ce qu'il y a de remarquable, c'eſt que cet affoibliſſement ſe fait preſque tout entier au paſſage de l'air dans l'eau ; car à trois pieds de profondeur, j'entendois preſqu'auſſi bien qu'à trois pouces.

C'eſt une queſtion parmi les Naturaliſtes de ſçavoir ſi les poiſſons ne ſont pas ſourds comme ils ſont muets; & quoique les plus habiles * s'en ſoient mêlés, elle eſt encore indéciſe, au grand étonnement du vulgaire, qui juge toujours ſur les premiéres apparences, & ſur l'analogie la moins approfondie. « Tous les autres animaux entendent; pourquoi les poiſſons n'entendroient-ils pas ? les poiſſons fuyent comme les oiſeaux quand on fait du bruit ; les uns comme les autres en ſont donc effarouchés. » Mais le vulgaire ne ſçait pas qu'on ne connoît point d'oreilles aux poiſſons, ni rien qui en faſſe l'office ;

* *Pline, Boyle, Artedi, Rondelet, &c.*

il ignore aussi qu'on a coutume de regarder l'eau qui est leur élément naturel, comme incapable de ressort, & que dans cette supposition, on seroit bien fondé à la croire impermeable au son. Si le poisson fuit quand on fait du bruit, il faut être bien assuré qu'il n'a pû appercevoir aucun mouvement qui l'ait déterminé à fuir ; & je sçais par moi-même que ce n'est point une chose fort aisée à décider, pour quelqu'un qui est en garde contre le préjugé.

Quoi qu'il en soit, si le poisson n'entend point les sons qui viennent de l'air, l'empêchement ne vient pas de l'eau, puisqu'elle les transmet ; je ne regarde point non plus comme une raison qui établisse absolument sa surdité, un défaut d'oreilles semblables à celles des autres animaux : cet organe, dans le poisson, pourroit être tout autrement constitué qu'il ne l'est dans les animaux qui respirent l'air ; que sçait-on si ce sens n'est point universel pour eux, comme le toucher l'est pour nous ? ce qui me fait hazarder ce soupçon, c'est qu'ayant plongé avec moi des corps

XI. LEÇON.

ſonores, le bruit ou le ſon que j'ai fait naître dans l'eau, m'affectoit tout le corps par une certaine commotion très-ſenſible, ce qui vient ſans doute de la grande ſolidité des parties de l'eau.

Par quelque milieu que le ſon ſe tranſmette, il employe un tems qui eſt ſenſible, lors même que la diſtance eſt aſſez médiocre; bien différent en cela de la lumiére, dont la propagation ſe fait dans un inſtant très-court à des diſtances fort grandes. Cette différence eſt un moyen commode, & dont on n'a pas manqué de faire uſage pour meſurer la vîteſſe du ſon. Car ſi l'on fait tirer un coup de canon ou une boëte à une diſtance connue, on peut prendre ſans erreur ſenſible, l'éclat de lumiére qu'on apperçoit comme le ſignal du ſon naiſſant; & l'on comptera, par le moyen d'un pendule à ſecondes, le tems qui s'écoulera juſqu'à ce qu'on l'entende; ainſi le tems ſera connu comme l'eſpace, ce qui donnera la vîteſſe.

Cette expérience faite & répétée depuis long-tems par l'Académie del Cimento, par MM. Flamſteed, Hal-

ley, Derham, &c. avoit fait conclure la viteſſe du ſon, de 180 toiſes meſure de France par ſeconde; mais il reſtoit encore quelque incertitude ſur les réſultats, ſoit parce qu'ils ne s'accordoient point parfaitement entr'eux, ſoit parce qu'on avoit employé des diſtances trop peu conſidérables. En 1738, l'Académie des Sciences *, pour terminer avec préciſion une queſtion qui peut être d'une application utile, ſoit pour la Géographie, ſoit pour la ſûreté de la navigation, chargea MM. de Turi, Maraldi, & l'Abbé de la Caille, de faire à cet égard les expériences néceſſaires, & avec les précautions les plus convenables au ſujet. Ces Académiciens firent leurs opérations ſur une ligne de 14636 toiſes qui avoit pour termes la tour de Montlhery, & la pyramide de Montmartre; & voici quels en furent les principaux réſultats.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1738. *p.* 128.

1o. Le ſon parcourt 173 toiſes meſure de Paris en une ſeconde de tems, de jour ou de nuit, par un tems ſerein ou par un tems pluvieux. Le mouvement de la lumiére n'a donc

XI. LEÇON.

point de part à la propagation du ſon ; & les vapeurs mêlées avec les particules de l'air n'interrompent point le mouvement de vibration.

2°. S'il fait un vent dont la direction ſoit perpendiculaire à celle du ſon, celui-ci a la même vîteſſe qu'il auroit par un tems calme.

3°. Mais ſi le vent ſouffle dans la même ligne que parcourt le ſon, il le retarde ou il l'accélére ſelon ſa propre vîteſſe ; c'eſt-à-dire, qu'avec un vent favorable le ſon parcourt 173 toiſes par ſeconde, plus la vîteſſe du vent ; & tout au contraire, ſi le vent eſt directement oppoſé. Et voilà pourquoi, lorſque le vent change de direction & de vîteſſe, on entend du même lieu certaines cloches que l'on ne peut entendre dans d'autres tems. Ainſi connoiſſant la vîteſſe du ſon accélérée par le vent, on pourra eſtimer la vîteſſe propre du vent ; car ôtant de la vîteſſe accélérée 173 toiſes par ſeconde pour celle du ſon, le reſte ſera celle du vent.

4°. La vîteſſe du ſon eſt uniforme, c'eſt-à-dire, que dans des tems égaux & pris de ſuite, il parcourt toujours des eſpaces ſemblables.

5°. L'intenſité ou la force du ſon ne change rien à ſa vîteſſe : quoiqu'un ſon plus fort s'étende plus loin qu'un plus foible, celui-ci parcourt comme l'autre 173 toiſes par ſeconde.

Toutes ces connoiſſances, & les épreuves par leſquelles on les a acquiſes, fourniſſent des moyens prompts & commodes, pour meſurer l'étendue des lieux où les opérations géométriques ne ſont point néceſſaires ou pratiquables, comme la largeur des lacs ou des riviéres à leur embouchure. Car puiſqu'après avoir apperçu la lumiére d'une arme à feu, chaque ſeconde de tems répond à une diſtance de 173 toiſes, c'eſt une choſe fort aiſée de ſçavoir combien il s'eſt écoulé de ſecondes, juſqu'au moment où le bruit s'eſt fait entendre. Le même moyen peut être d'un grand ſecours dans un tems couvert, pour des vaiſſeaux qui craignent de ſe briſer contre les côtes ; car ſi au lieu d'un fallot, qui en pareil cas ne ſe voit pas de fort loin, on faiſoit tirer de tems en tems quelques boëtes ou quelques coups de canon, cette lumiére, qui eſt beaucoup plus active & plus per-

XI. LEÇON.

çante, indiqueroit bien mieux l'endroit que l'on doit aborder ou éviter, & le bruit qui ſuccéderoit, en marqueroit la diſtance à des navigateurs attentifs.

Nous avons dit ci-deſſus, que les corps ſont d'autant plus ſonores qu'ils ont plus de denſité, & en même-tems plus de reſſort : il en eſt de même de tous les milieux qui tranſmettent le ſon ; & comme l'air eſt celui de tous, qui nous eſt le plus familier, nous nous y arrêterons par préférence.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

AB, *Fig.* 10. eſt une planche fort épaiſſe ſur laquelle ſont élevés deux piliers *C*, *D*, qui reçoivent par en haut une traverſe *E F*; cette derniere piéce eſt aſſujettie par deux vis qui la font deſcendre autant qu'il eſt néceſſaire, pour preſſer fortement un récipient de verre fort épais. Ce vaiſſeau repoſe d'une part ſur des cuirs mouillés, & il eſt fermé par enhaut avec une platine de métal, garnie auſſi d'un cuir mouillé par deſſous, de ſorte

que

que l'intérieur du récipient, lorsqu'il est serré dans son chassis, ne communique qu'avec la pompe foulante *G*, par un petit canal où l'on a pratiqué un robinet. Cette pompe est tout-à-fait semblable à celle que nous avons décrite ci-dessus * en parlant de la fontaine de compression, c'est-à-dire, qu'il y a au bout, immédiatement avant le robinet, une petite soupape qui permet que l'air sorte de la pompe, mais non pas qu'il y revienne du récipient lorsqu'on reléve le piston : ainsi le robinet étant ouvert, on peut condenser l'air dans le récipient, autour d'une sonnette qui est suspendue de maniére qu'on peut la faire sonner en balançant un peu le chassis.

* P. 239.

Comme l'air fortement condensé fait un grand effort, c'est une sage précaution à prendre que de revêtir le vaisseau d'une cage d'un gros fil de fer, afin que s'il vient à crever, les éclats ne causent aucun dommage.

Pour condenser l'air en proportions connues, il faut enfermer dans le récipient, un petit scyphon renversé dont la branche la plus longue soit

XI. LEÇON.

fermée, & qui contienne, à l'endroit de sa courbure, un peu de mercure, ou de liqueur colorée, *Fig.* 11. car à mesure que l'air deviendra plus dense, en pressant par la branche la plus courte qui est ouverte, il forcera la liqueur de monter dans l'autre, & condensera l'air *a b* autant qu'il le sera lui-même : ainsi quand cette petite colonne d'air sera resserrée dans un espace d'un tiers ou de moitié plus petit qu'auparavant, (ce qu'on appercevra par les graduations marquées sur la planche,) on jugera que l'air du récipient est condensé d'un tiers, ou une fois davantage.

EFFETS.

Quand l'air a été condensé dans le récipient, le son que rend la sonnette est sensiblement plus fort qu'il n'a coutume d'être, lorsque l'air est dans son état naturel ; car alors on l'entend de plus loin.

EXPLICATIONS.

Puisque le son consiste essentiellement dans les vibrations de toutes les parties qui composent le corps so-

nore, il doit y avoir plus de ſon partout où il ſe trouve plus de parties ſonnantes, & un reſſort plus actif : or ces deux choſes ſe rencontrent, lorſque l'air eſt plus condenſé : ſes parties ſont plus ſerrées ; il y en a un plus grand nombre dans un eſpace donné, & le reſſort de chacune de ces parties eſt plus tendu ; l'air, en cet état, doit donc être plus ſonore que quand il eſt plus rare.

Hauxbée, auteur de cette expérience *, ne s'eſt point contenté d'apprendre en général que le ſon devient plus fort, lorſqu'on augmente la denſité & le reſſort de l'air ; il a porté ſes recherches juſques ſur les proportions de cet accroiſſement. Avant que de condenſer l'air, il a marqué la diſtance à laquelle on ceſſoit d'entendre la ſonnette enfermée dans le récipient ; puis l'ayant condenſé une fois plus que dans ſon état ordinaire, il trouva que le ſon s'étendoit à une diſtance une fois plus grande ; & qu'après avoir triplé la denſité de l'air, on entendoit la ſonnette de trois fois plus loin, &c.

* *Tranſact. phil. n.* 321.

Que falloit-il conclure de ces ef-

XI. LEÇON.

fets ? que le ſon augmente en raiſon directe de la denſité de l'air ? non, le rapport eſt plus grand ; car quand on entend la ſonnette à une diſtance double, il faut qu'à une diſtance de moitié moins grande, le même ſon ſoit quatre fois plus fort, & en voici la raiſon.

Le corps ſonore communique de toutes parts ſes vibrations à l'air qui l'environne ; ſon action ſe propage donc par des rayons de ce fluide qui vont toujours en s'écartant les uns des autres comme ceux d'une ſphére, & l'oreille qui écoute devient la baſe d'un cône d'air animé par le corps ſonore qui eſt au ſommet. *Voyez la Fig.* 12.

Or c'eſt une choſe connue de tous ceux qui ont quelques notions de Mathématiques, que le cercle qui eſt deux fois plus grand qu'un autre, renferme par ſa circonférence un eſpace qui a quatre fois plus d'étendue ; & pour exprimer cette proportion d'une maniére générale, les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diamétres : ainſi le cône *a b c*, a une baſe quatre fois plus étendue que *ade*,

qui eſt une fois plus court ; car *de*, diamétre de celui-ci, n'eſt que la moitié de *bc*, diamétre de l'autre ; & par conſéquent, ſi l'ouverture de l'oreille qu'on ſuppoſe circulaire, eſt d'un diamétre égal à *de*, lorſqu'elle eſt placée à la 1re diſtance, elle reçoit quatre fois plus de rayons ſonnans qu'elle n'en reçoit à la 2de diſtance.

Par la même raiſon elle en recevroit 9 fois moins à la 3me. 16 fois moins à la 4me. & comme 16 eſt le quarré de 4 ; 9 le quarré de 3 ; 4 le quarré de 2 ; on peut dire généralement que *le ſon décroît comme le quarré de la diſtance qui augmente.*

Mais puiſqu'ayant doublé la denſité & le reſſort de l'air tout enſemble, on entend le ſon deux fois plus loin qu'auparavant ; qu'avec un air 3 fois plus denſe, & 3 fois plus élaſtique, on l'entend à une diſtance 3 fois plus grande ; en ſuivant le principe que je viens d'expliquer, il faut que l'intenſité du ſon ſoit, ou comme le quarré de la denſité, ou comme le quarré de l'élaſticité de l'air, ou bien comme le produit de l'une multipliée par l'autre. M. Zanotti curieux de ſçavoir la-

XI. LEÇON.

quelle de ces trois loix étoit celle de la nature, s'est enfin fixé à la troisiéme, après des expériences autant ingénieuses que délicates, & dont il faut voir le détail dans ses ouvrages, ou dans les extraits * qu'on en a faits.

* *De Bononiensi Scient. & Art. instituto Commentarii*, p. 176.

APPLICATIONS.

Il suit de ces principes fondés sur l'expérience & sur le raisonnement, que les corps sonores doivent se faire entendre plus fortement par un tems froid que lorsqu'il fait fort chaud, puisqu'alors l'air est plus condensé, & qu'il a plus de ressort : mais cette augmentation de densité n'est point assez considérable apparemment pour avoir un effet sensible à l'égard des sons, ou bien comme ces changemens se font par degrés & lentement, ce qui en résulte pour l'augmentation ou pour l'affoiblissement des sons, ne se fait point remarquer.

Tout le monde connoît l'effet des trompettes parlantes, ou *porte-voix* : le Chevalier Morland, & ceux qui se sont appliqués comme lui à perfectionner cet instrument, semblent n'avoir eu en vûe que la direction des rayons sonores, & avoir rapporté à

cette seule cause l'augmentation du son : c'est pourquoi M. Hase veut qu'il soit composé de deux parties, dont une soit elliptique, & l'autre parabolique, *Fig.* 13. & qu'elles ayent un foyer commun en *b*, afin, dit-il, que les rayons partant de l'embouchure *a*, premier foyer de la portion elliptique, & étant réfléchis de tous les points *c*,*d*,*e*,*f*, &c. se croisent au foyer *b*, qui est commun à la portion parabolique, pour être ensuite réfléchis parallélement des points *h*,*i*,*k*,*l*, &c.

On ne peut nier assûrément que cette forme ou quelqu'autre peut-être encore plus avantageuse, ne contribue beaucoup à augmenter le son dans la direction *a g*, ou suivant l'axe de l'instrument ; puisqu'il doit se trouver par ce moyen autant de mouvement dans la colonne d'air *i l m n*, qu'il y en auroit dans toute l'hémisphére, dont le centre seroit occupé par la bouche d'un homme qui parleroit sans porte-voix. Mais doit-on être satisfait de cette raison, quand on demande pourquoi à côté & derriere l'instrument, le son paroît encore si fort augmenté ? Comme la ré-

XI. LEÇON.

flexion du son suit les mêmes loix que celle de la lumiére, supposons que le porte-voix de M. Haſe ſoit poli intérieurement comme un miroir, & plaçons en *a* un point radieux comme une bougie ; que doit-il arriver ? la lumiére ſera condenſée, & il fera certainement plus clair en *m n*, qu'il n'y feroit ſans le ſecours de l'inſtrument ; mais tous les environs, au lieu d'être plus éclairés, ſeront dans une grande obſcurité. Il y a donc à l'égard du ſon quelqu'autre choſe qu'un mouvement réfléchi en conſéquence de la figure du porte-voix ?

Oui ſans doute, & l'on peut dire en général que le ſon augmente toutes les fois que le corps ſonore imprime ſon mouvement à un air qui eſt appuyé ; la voix ſe fait mieux entendre dans les rues d'une ville qu'en raſe campagne, & mieux encore dans une chambre cloſe que dans la rue : c'eſt que les particules d'air qui ont été plus fortement pliées, font des vibrations plus grandes ; & l'air, comme tout autre reſſort, ſe comprime d'autant plus, qu'il ſe déplace moins pendant que la puiſſance comprimante agit ſur lui.

Mais

XI. LEÇON.

Mais cette augmentation du son causée par l'immobilité de l'air est encore plus sensible, quand c'est un corps dur qui arrête & qui soutient les parties de ce fluide. Un Orateur se fait mieux entendre, quand il y a moins de monde pour l'écouter, & que le lieu où il parle n'est pas meublé ; car alors le son, au lieu de s'amortir, comme il fait en frappant des corps mols & sans réaction, revient sur lui-même, ou se porte d'un autre côté, suivant la maniére dont il est réflechi. Voilà pourquoi le bruit du tonnerre, celui du canon ou d'un fusil, s'étend plus loin dans les vallées & le long des riviéres que dans le pays plat ; & que dans les aqueducs & dans les autres souterrains voûtés, la voix la plus foible se porte intelligiblement d'un bout à l'autre. C'est encore par la raison d'un air immobile, (d'ailleurs fortement comprimé, & appuyé contre des parois fort dures) qu'un homme enfermé dans l'eau sous la cloche du plongeur, pensa s'évanouir par l'étonnement que lui causa le son d'un cornet ou petit cor qu'il essaya d'emboucher. *

* *Sturm. Col.*

XI. LEÇON.

leg. Curiof. Tome II. Tentam. I.

On doit expliquer par le même principe ce qui ſurprend les curieux dans ces édifices où la voix la plus baſſe ſe fait entendre d'un angle à l'autre, ſans que les aſſiſtans qui ſont placés par-tout ailleurs, puiſſent entendre un mot de ce qu'on dit ; car ces angles ſont ordinairement continués à la voûte, & ils contiennent une portion d'air qui ne ſe déplace point, & dans laquelle le ſon devient & ſe conſerve plus fort ; & la figure de la voûte occaſionne des réflections telles qu'il les faut pour le tranſmettre.

Enfin quand la maſſe d'air qui reçoit le ſon, ſe trouve contenue par des parois qui étant dures, ſont encore minces & élaſtiques, au premier effet dont je viens de parler, il s'en joint un autre ; non ſeulement le ſon augmente en dedans, parce que l'air intérieur eſt ſolidement appuyé ; mais ce même ſon augmenté ſe tranſmet auſſi à l'air extérieur, parce qu'il frappe un corps élaſtique & qu'il le met en jeu. Pour preuve de ceci, que l'on ſupprime, que l'on créve, ou qu'on lâche ſeulement l'une des peaux d'un tambour ; en frappant ſur celle qui reſte, on n'en tirera pas autant de ſon

qu'auparavant ; d'où vient cette différence ? c'eſt que l'air contenu dans la caiſſe n'a plus d'appui par enbas, au lieu que quand il eſt appuyé ſur une peau bien tendue, il reçoit plus de mouvement, parce qu'il réſiſte davantage ; & il le communique au-dehors, parce qu'il repoſe ſur un corps élaſtique.

Maintenant on voit bien pourquoi le ſon augmente non ſeulement dans la direction du porte-voix, mais auſſi dans tous les environs; car cet inſtrument, comme on ſçait, eſt fait de feuilles de métal fort minces, & par conſéquent très-propres à tranſmettre au-dehors le ſon qui augmente beaucoup au-dedans, parce que la maſſe d'air que la voix frappe, eſt contenue par des parois fort dures.

Ce que je dis du porte-voix peut s'entendre de tout autre inſtrument, même de ceux qui ſont à cordes ; car pourquoi faut-il, par exemple, qu'un clavecin ou une baſſe de viole, ſoit une caiſſe de bois mince & élaſtique? c'eſt que ſans cela le ſon des cordes ſe communiqueroit à un air vague & ſans appui, qui échapperoit, pour

XI. LEÇON.

ainſi dire, à leur choc ; au lieu qu'elles agiſſent ſur une maſſe qui eſt comme forcée de recevoir d'elles un plus grand mouvement, & qui le tranſmet au-dehors par la réaction du bois.

Le ſon comme tout autre mouvement change de direction, lorſqu'il rencontre des obſtacles qui ne l'abſorbent point : & alors il ſuit la loi commune ; * l'angle de ſa réflection devient égal à celui de ſon incidence

Tome I. p. 289.

Le ſon réfléchi que l'on nomme communément *Echo*, ne ſe diſtingue point du ſon direct, c'eſt-à-dire, de celui qui vient immédiatement du corps ſonore, quand la réflection ſe fait de fort près ; l'un & l'autre ſe confondent. Mais lorſqu'il y a une diſtance ſuffiſante, comme le ſon qui vient par réflection, fait plus de chemin que celui qui vient directement, il arrive plus tard à l'oreille, & y répéte la premiére impreſſion. Suppoſons, par exemple, qu'une perſonne parle à voix haute, vis-à-vis d'un rocher *O*, éloigné de 173 toiſes, *Fig.* 14. elle s'entendra parler dans le même inſtant ; mais le ſon qui ira frapper en *O*, & qui reviendra à elle

par réflection, employera deux secondes de tems à cause du double trajet de 173 toises. Et parce que le son qui va plus loin, met plus de tems pour aller & pour revenir, s'il y a des obstacles en *P* & en *Q*, qui réfléchissent les rayons sonores vers le même endroit, on y entendra successivement deux, trois ou quatre échos. C'est encore par cette raison, qu'étant placé en *r*, *Fig.* 12. on entend d'abord le son de la cloche *a* par le rayon *a r*, & ensuite l'écho de la même cloche par les rayons *a s*, *s r*.

Les échos ne se trouvent point en rase campagne, mais très-communément dans les bois, dans les rochers & dans les pays montagneux, parce que le son y rencontre bien fréquemment des obstacles qui le réfléchissent; on en a observé qui répétent un grand nombre de fois, comme celui de Wostock, qui répéte distinctement 17 syllabes pendant le jour, & 20 pendant la nuit: * mais on a toujours observé en même tems que les derniéres répétitions sont plus foibles que les premiéres, ce qui est une conséquence nécessaire; car les sons

* *Rob. Plot. Hist. nat. de la Prov. d'Oxfort en Angleterre.*

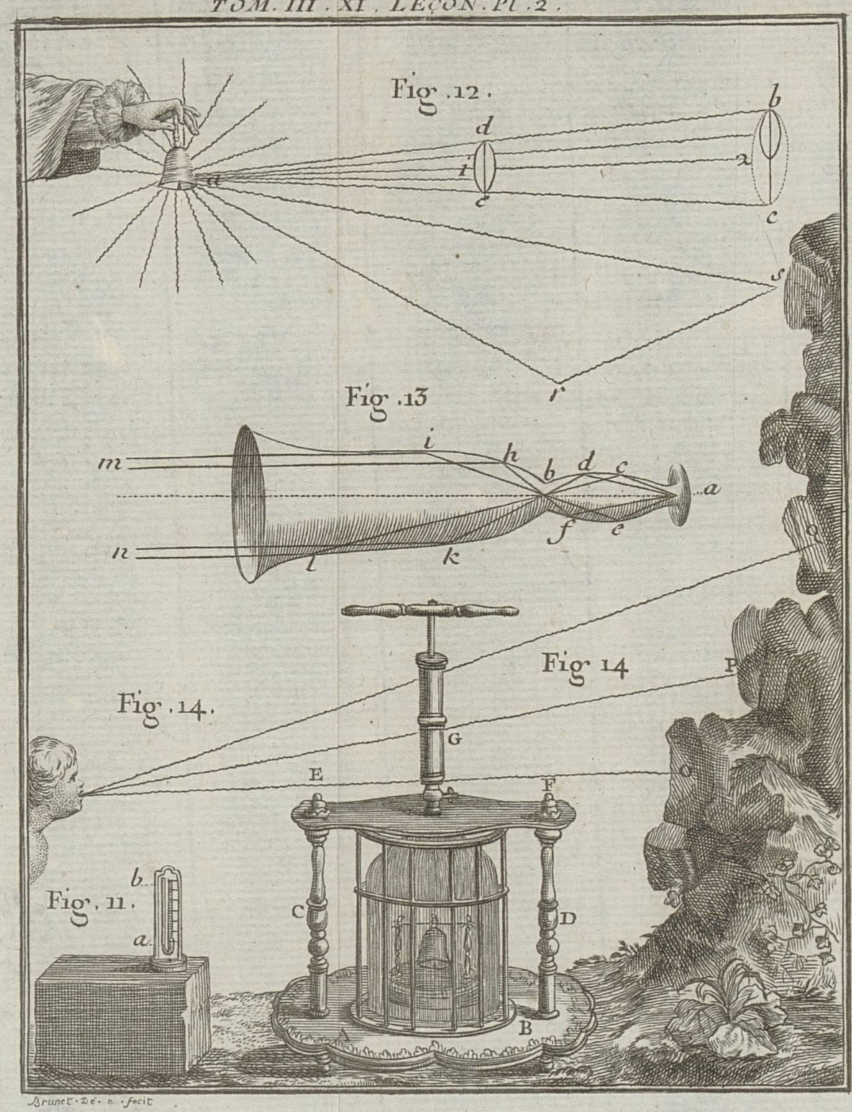
XI. LEÇON.

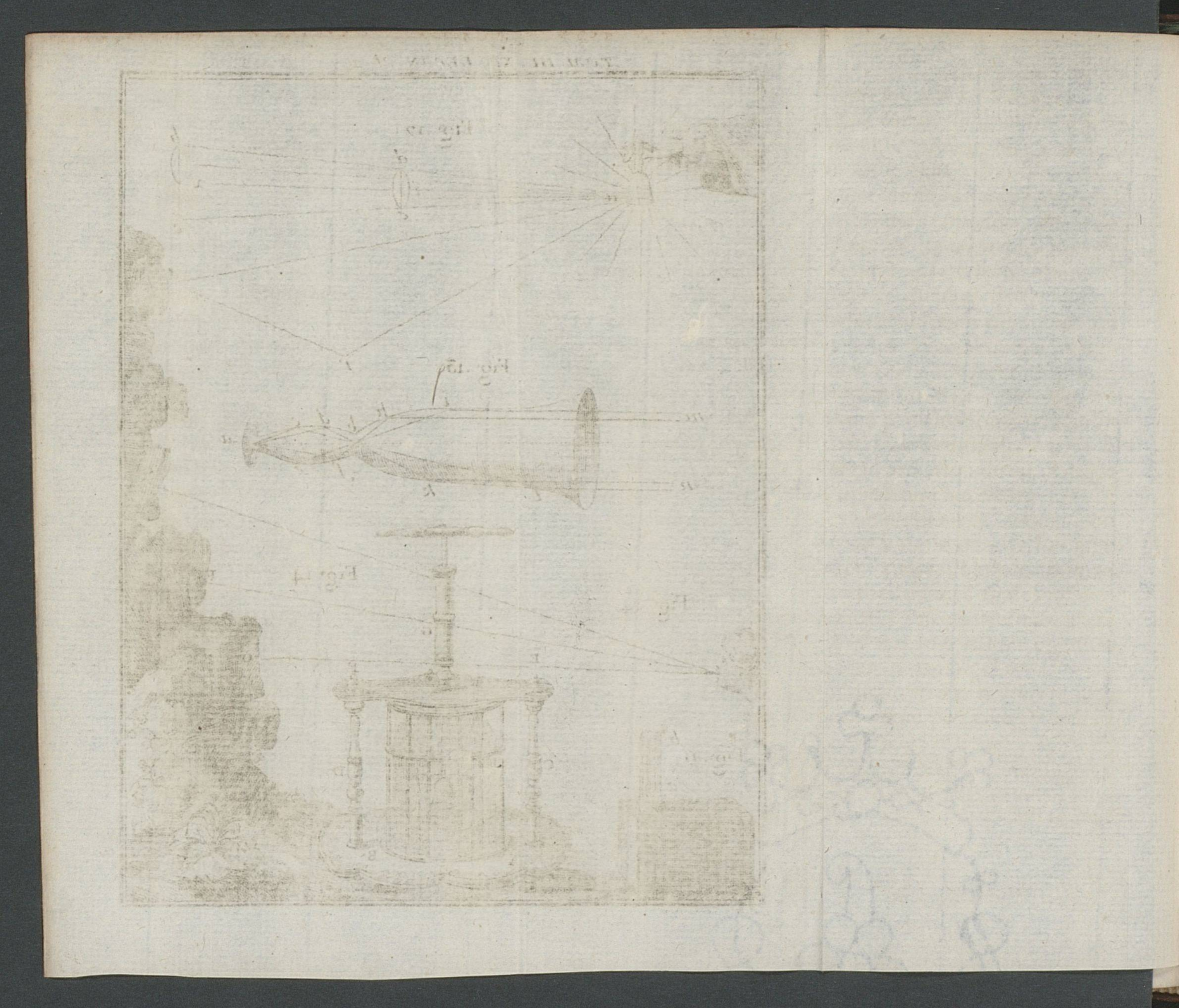
qui viennent les derniers, ont fait plus de chemin que les autres, & le son est un mouvement qui diminue comme le quarré de la distance qui augmente, à moins que l'obstacle qui réfléchit les rayons sonores, ne soit d'une figure propre à diminuer leur divergence.

Les échos deviennent quelquefois des phénoménes fort singuliers, par la rareté des circonstances qui les font naître: à 3 lieues de Verdun il y a deux grosses tours éloignées l'une de l'autre de 36 toises, lorsqu'on parle un peu haut dans la ligne qui joint ces deux édifices, la voix se répéte 12 ou 13 fois, toujours en s'affoiblissant; les deux tours se renvoyent le son alternativement, comme deux miroirs qui se regardent, multiplient l'image d'une bougie placée entre eux : * on voit encore la description d'un écho plus singulier dans les Mémoires de l'Académie, imprimés avant 1700. ** On trouve assez facilement la cause de tous ces effets, en étudiant avec un peu d'attention, la nature & la position des lieux, ou la figure de tout ce qui est élevé sur le terrain.

* *Hist. de l'Académ. des Scienc.* 1710. p. 18.

* *Tom. X. p.* 187.


Fig . 12 .
b
d
x
i
a
e
c
s
r
Fig . 13
i
m
h
b
d
c
a
f
e
n
l
k
o
Fig 14
P
Fig . 14 .
G
E
F
b.
Fig . 11 .
a.
C
D
B
Brunet · Dé · e · fecit



De l'Ouie, & de son Organe.

XI. LEÇON.

DANS le premier volume de cet ouvrage j'ai fait une digression sur les sens, où j'ai traité seulement du toucher, du goût & de l'odorat; on a dû voir par ce que j'en ai dit, que ces trois premiers sens ne nous mettent en commerce qu'avec les objets qui agissent immédiatement sur nous, soit par eux-mêmes, soit par leurs émanations. Mais à quoi en serions-nous réduits, s'il n'y avoit rien de sensible pour nous, que par des actions immédiates; si nous n'appercevions une bête féroce ou venimeuse, que par sa morsure, une pierre qui menace notre vie, que quand elle commence à nous écraser? Quel tableau seroit-ce que celui du monde, si tous les hommes ressembloient à ces créatures imparfaites, qu'une surdité ou un aveuglement de naissance met hors d'état de participer à la plûpart des idées communes (*a*), & qui seroient plus malheureuses encore, si plus favorable-

(*a*) Voyez l'histoire d'un sourd & muet de naissance qui commença à entendre & à parler à l'âge de 24 ans. *Hist. de l'Acad. des Sciences*, 1703. *p.* 18.

XI. LEÇON.

ment traités par la nature, nous n'étions capables d'adoucir un peu la rigueur de leur ſort. Par le ſecours de l'ouie & de la vûe nous ſortons, pour ainſi dire, de nous-mêmes; nous allons au-devant des objets; nous les jugeons de loin, & ſur le rapport de ces deux ſens, le déſir ou la crainte nous fait prendre & les moyens & les précautions néceſſaires à notre bien-être.

On auroit peine à dire ce qui nous eſt le plus néceſſaire, ou de la vûe ou de l'ouie. C'eſt ordinairement en ſuppoſant la privation de l'une ou de l'autre, que l'on eſſaye d'en juger; mais bien ſouvent cette comparaiſon manque de juſteſſe & conduit à un faux jugement, parce qu'on ne met pas les circonſtances égales de part & d'autre. Il y a une grande différence à faire d'un aveugle ou d'un ſourd de naiſſance, à celui qui a vû ou entendu juſqu'à un certain âge, & qu'un accident a privé de l'un de ces deux ſens; je n'ai point aſſez médité ſur les regrets d'un homme qui ſçait qu'on peut voir, & qui n'a jamais vû, pour les comparer à ceux d'un autre hom-

me qui ſçait qu'on peut entendre, & qui n'a jamais entendu; j'ignore quelle eſt leur peine, & de quel côté il y en a davantage; mais à préſent que je ſçais combien il eſt difficile de faire naître des idées à quelqu'un qui n'entend point, & de combien de connoiſſances divines & humaines eſt privé un homme qui n'a pu avoir aucune éducation, j'aimerois mieux être né aveugle que ſourd. Je choiſirois tout différemment, ſi connoiſſant l'écriture, & les autres ſignes communs à la ſociété, il me falloit opter entre l'ouie & la vûe; de ces deux biens le dernier me toucheroit davantage.

Cependant, dit-on, toutes choſes égales d'ailleurs, un ſourd eſt toujours plus triſte qu'un aveugle.

Si vous appellez triſteſſe, un air abſent & étranger à la converſation, vous avez raiſon; il n'y prend aucune part: mais en eſt-il plus affligé qu'un aveugle devant qui l'on diſpute de la beauté d'une étoffe? je ne le crois pas, à moins qu'il ne s'imagine qu'on parle de lui, ou de ce qui l'intéreſſe; & alors ce n'eſt plus ſimplement à un aveugle devant qui l'on diſpute

XI. LEÇON.

d'une étoffe, qu'il le faut comparer, mais à un aveugle à qui il importe de sçavoir si cette étoffe est belle ou laide : je veux dire que les regrets de l'un & de l'autre sont égaux, quand l'intérêt est égal de part & d'autre ; mais je pense que l'aveugle a plus d'occasions de regretter, parce qu'on ne supplée point à la vûe, ni aussi facilement, ni aussi parfaitement qu'à l'ouie. On a vû des gens qui étant devenus sourds à un certain âge ; s'étoient fait une habitude d'entendre au seul mouvement des lévres, tout ce qu'on leur disoit, & même de converser ainsi avec d'autres sourds. *

Au reste pourquoi chercher quel est le plus avantageux de deux biens qui le sont peut-être également ? il semble que la nature l'ait décidé ainsi, puisque ne faisant jamais rien de superflu, elle a pourtant jugé à propos de nous donner deux oreilles, comme elle nous a donné deux yeux.

L'ouie a pour objet le bruit & le son, dont nous avons parlé précédemment ; la différence qu'il y a entre l'un & l'autre, c'est que le premier est un trémoussement irrégulier,

* *Mém. de Trévoux, Septembre,* 1701. p. 9. *Transact. Philosoph.* n°. 312.

ou peut-être un assemblage de plusieurs sons qui font ensemble sur l'organe une impression confuse, au lieu que le son proprement dit consiste dans des vibrations réguliéres, homogénes, & qui se font sentir plus distinctement; peut-être même les sons n'affectent-ils qu'une certaine partie de l'organe, & que le bruit les ébranle toutes en même tems.

L'oreille est l'organe de l'ouie; c'est par cette partie qui paroît extérieurement en forme d'entonnoir aux deux côtés de la tête, que le son s'introduit, pour aller toucher les fibres nerveuses, où s'accomplit la sensation. Je n'entreprendrai point une description anatomique & complette de cet organe: c'est aux gens de l'art à entrer dans ce détail, qui seroit peut-être déplacé ici; le Lecteur qui en jugera autrement, trouvera bon que je le renvoye aux ouvrages qui ont été faits exprès sur cette matiére; & nommément à celui de M. le Cat*, qui a comparé les desseins des plus grands Maîtres avec ses propres observations. Je me contenterai donc de nommer succinctement les princi-

* *Traité des Sens*, p. 275. *Traité de l'Oreille*, de M. du Verney.

XI. LEÇON.

pales parties que la nature employe pour faire ſentir les ſons, & de les indiquer par des figures gravées d'après les meilleurs Anatomiſtes ; car mon deſſein ſe borne à faire comprendre ſeulement, par quelle méchanique nous entendons les ſons.

AB, *Fig.* 16. repréſente la partie extérieure de l'oreille, dont le fond qui eſt vers *C*, s'appelle *la Conque*. *CD* eſt le *Conduit auditif* vû extérieurement ; c'eſt un canal qui part de la Conque, & qui aboutit au *Timpan E* ; cette membrane mince qui ſe preſente obliquement, n'eſt pas tout-à-fait plane, mais un peu concave du côté du conduit auditif ; immédiatement après, en avançant vers l'oreille interne, ſont quatre oſſelets qu'on appelle, à cauſe de leur figure, *l'Os orbiculaire* 1, *l'Etrier* 2, *l'Enclume* 3, & *le Marteau* : une partie de celui-ci que l'on a nommée *le Manche* 4, aboutit au centre du timpan, & ſert à le tendre plus ou moins ; la premiére cavité qui eſt ſous cette membrane, ſe nomme *la Caiſſe du Tambour* ; elle eſt pleine d'air, & communique avec la bouche par un canal *Ff* qui ſe nomme

la Trompe d'Euſtache ; de ſorte que l'air du tambour communiquant toujours avec l'air extérieur, fait équilibre à celui qui remplit le conduit auditif ; à la caiſſe du tambour répond une autre partie de l'oreille, qu'on nomme *Labyrinte*, composé du *veſtibule G*, des trois canaux ſémicirculaires *H*, *I*, *K*, & du *limaçon L*, que je vais décrire ſéparément.

Le limaçon eſt un cône un peu écraſé, *Fig.* 17. enveloppé d'un conduit qui, comme un pas de vis, fait à-peu-près deux ſpires & demie, *Fig.* 18.

Ce conduit qui va toujours en s'étréciſſant, eſt diviſé dans toute ſa longueur par une cloiſon membraneuſe dont les fibres tendent à l'axe du cône qui lui ſert de noyau, *Fig.* 19. C'eſt cette partie qu'on nomme *Lame ſpirale*, & qui va toujours en s'étréciſſant comme le conduit qu'elle partage, depuis la baſe du cône juſqu'à la pointe. Ainſi les fibres qui composent ſa largeur, deviennent toujours de plus en plus courtes, en approchant du ſommet du cône.

Le conduit ſpiral partagé en deux

XI. LEÇON.

par la cloiſon dont je viens de parler, a néceſſairement deux orifices *M,N*, dont un aboutit au veſtibule du labyrinthe , & l'autre à la caiſſe du tambour.

Enfin le nerf auditif *O* ſe diviſe en pluſieurs branches qui paſſent dans le veſtibule, & ſe ſubdiviſent en une infinité de petites fibres qui ſe diſtribuent à toutes les parties du labyrinthe : voilà à-peu-près quelle eſt la ſtructure de l'oreille ; en voici maintenant les fonctions.

La conque, parce qu'elle eſt évaſée preſque en forme d'entonnoir, reçoit les rayons ſonores en plus grande quantité , & leur action ſe tranſmet par le conduit auditif juſqu'à la membrane du tambour où ſe fait la premiére impreſſion. Si cette membrane eſt lâche, les ſons foibles s'y amortiſſent, & ne paſſent pas outre ; ou bien, s'ils paſſent, leur impreſſion eſt ſi peu ſenſible, que l'ame n'y fait point attention. Voilà pourquoi , lorſque nous ſommes occupés d'ailleurs , il peut ſe faire auprès de nous des petits bruits ou des ſons médiocres qui nous échappent. Mais ſi le

timpan eſt bien tendu, (& c'eſt ce qui arrive quand on écoute,) le moindre ſon ſe communique par cette membrane élaſtique à la maſſe d'air qui eſt dans la caiſſe du tambour ; & de cet air il paſſe à celui qui eſt dans le labyrinthe dont toutes les parties ſont revêtues des petites fibres du nerf auditif.

Un trop grand bruit fatigue l'oreille & va quelquefois juſqu'à rendre ſourdes pour un tems, & même pour toujours, les perſonnes qui s'y ſont expoſées : c'eſt qu'une impreſſion trop forte ſur cet organe, comme ſur les autres, engourdit les parties qui ſont délicates, ou en dérange l'œconomie. Après un grand bruit, les ſons foibles ſont à l'oreille, ce qu'eſt à l'œil une petite lumiére après une grande illumination.

Tout le monde ſçait, & les enfans mêmes n'ignorent pas qu'on entend le ſon bien plus fortement, quand on tient le corps ſonore dans les dents, ou qu'on a la bouche ouverte deſſus ; c'eſt qu'alors les vibrations ſe communiquent à l'air du tambour par la trompe d'Euſtache ; & cette

XI. LEÇON.

action, qui est comme immédiate, doit se faire sentir bien plus fortement que celle qui se transmet par le timpan : c'est un moyen de mieux entendre, que l'on voit assez souvent mettre en usage par les gens qui ont l'ouie un peu dure ; ils ouvrent la bouche quand ils écoutent avec beaucoup d'attention.

Il suit de cette observation, que la membrane du tambour, ou le timpan, n'est point une partie essentiellement nécessaire pour la perception des sons, puisqu'ils pourroient se transmettre immédiatement à l'air qui est dans la caisse ; & l'expérience a prouvé que cette conséquence est juste ; car des chiens à qui l'on avoit ôté cette membrane, ne devinrent point sourds, aussi-tôt après cette opération * ; mais l'expérience même a fait voir que sans cette espéce de barriére, les autres parties ne peuvent se conserver long-tems, puisque ces animaux, quelques semaines après, n'entendoient plus, comme auparavant, la voix de ceux qui les appelloient.

* *Willis, de l'ame des Bêtes, c. 14.*

On est parfaitement d'accord sur l'existence

l'existence du timpan, sur la place qu'il occupe, & même sur ses fonctions; mais on ne l'est pas de même, quand il s'agit de sçavoir, si cette espéce de diaphragme ferme absolument le conduit auditif, ou s'il peut s'ouvrir sans sortir de son état naturel; les uns * tiennent pour cette derniére opinion & citent l'expérience de certaines gens qui font sortir par leurs oreilles la fumée du tabac qu'ils ont retenu dans leur bouche; les autres soutiennent le contraire, & s'appuyent sur l'expérience d'un habile Anatomiste *, qui ayant rempli de mercure l'oreille d'un sujet mort, ne put jamais faire passer ce minéral de la caisse du tambour dans le conduit auditif. L'expérience des fumeurs doit-elle être regardée comme un effet contre nature, auquel cas elle ne prouveroit rien? ou bien la mort donne-t-elle au timpan une adhérence invincible qu'il n'auroit pas dans le sujet vivant, ce qui rendroit l'expérience faite avec le mercure aussi peu concluante? Tout l'embarras de cette décision cesse, quand on sçait que la fumée ne passe point, comme

XI. LEÇON.

* *Dionis, demonstrat. anatom. 8.*

* *Valsave, de aure humana, c. 2. §. 8.*

XI. LEÇON.

on le dit, par l'oreille ; & que ce prétendu fait n'eſt au fond qu'une ſupercherie, par laquelle certaines gens en impoſent à ceux qui ſont aſſez crédules pour ſe rendre aux premiéres apparences, ou trop peu inſtruits pour les approfondir, comme je l'ai appris d'un de nos Anatomiſtes * dont les lumiéres & la candeur ſont très-connues, & qui m'a dit s'en être aſſuré par l'aveu même de pluſieurs ſoldats des Invalides qui s'étoient vantés de rendre la fumée par les oreilles.

* *M. Morand de l'Ac. des Scienc. & chargé par la Compagnie de vérifier le fait.*

Comme la propagation des ſons ſe fait ſelon les mêmes loix que celles de la lumiére, on peut raſſembler les rayons ſonores, & les condenſer comme ceux qui viennent d'un objet lumineux. Que l'on faſſe donc un cornet de figure parabolique, *F.* 20. au fond duquel aboutiſſe un petit canal, dont on placera le bout dans la conque de l'oreille, alors tous les rayons paralléles, comme *a b*, *c d*, ſeront raſſemblés en *f*, foyer de la parabole, & augmenteront conſidérablement la force du ſon dans le conduit auditif.

Mais comme ces inſtrumens acouſtiques ne doivent avoir d'autre effet

que de renvoyer le ſon à l'oreille de celui qui s'en ſert, il faut empêcher qu'ils ne le tranſmettent autour d'eux comme le porte-voix ; c'eſt pourquoi je voudrois qu'on les fît de métal bien poli, afin que par leur dureté & par la régularité de leur ſurface, la réflection des rayons fût plus complette, mais qu'on amortît leur reſſort, en les couvrant par-dehors avec une peau de chagrin, ou avec quelque choſe d'équivalent.

M. Le Cat *, frappé de ce que la nature a pratiqué dans l'organe de l'ouie pluſieurs cavités remplies d'air, a imaginé, pour aider les perſonnes qui ont de la peine à entendre, un double cornet qui eſt repréſenté par la *Fig.* 21. & dont l'ouverture *CD* peut avoir 2 pouces ½ ou 3 pouces de diamétre. Dans l'opinion où je ſuis que l'augmentation du ſon, par ces ſortes d'inſtrumens, vient autant de l'immobilité de l'air, que d'une réflection bien ménagée des rayons ſonores, je penſerois volontiers qu'on ne pourroit tirer avantage de cette nouvelle invention qui n'a point encore été éprouvée.

* *Traité des ſens*, p. 292.

XI. Leçon.

Des Sons comparés.

Ce que j'ai dit précédemment touchant la nature du ſon en général, doit faire comprendre que les corps ſonores ſont capables d'exciter en nous différentes ſenſations, non-ſeulement parce qu'étant plus denſes ou plus élaſtiques les uns que les autres, ils peuvent agir plus puiſſamment ou plus long-tems; mais encore, parce que leur reſſort étant plus ou moins tendu, doit être ſuſceptible de vibrations plus ou moins fréquentes : & en effet, tout le monde s'apperçoit que le ſon d'une cloche & celui d'une ſonnette, différent beaucoup entr'eux; & pour le peu qu'on y faſſe attention, on reconnoît aiſément qu'il y a dans cette différence quelque choſe de plus que le degré de force; car quand on ſeroit fort près de la ſonnette, & très-éloigné de la cloche, l'organe ſeroit encore affecté d'une maniére bien différente par ces deux ſons. Il en eſt de même d'une corde, quand on prendroit ſoin de la pincer toujours également fort,

ſi elle eſt plus ou moins tendue, le ſon change, & l'on n'apperçoit d'autre cauſe de cet effet, qu'une roideur plus ou moins grande dans les parties, d'où il doit réſulter un frémiſſement plus ou moins prompt.

XI. LEÇON.

Ce ſont ces différentes nuances de ſon, qui procédent de la fréquence plus ou moins grande des vibrations dans les parties du corps ſonore, que l'on appelle *Tons*, & dont la combinaiſon harmonieuſe fait l'objet de la muſique, de cet art merveilleux qui a tant de pouvoir ſur l'ame, & dont tant de perſonnes ſont occupées aujourd'hui, ſoit par goût, ſoit par profeſſion.

On diſtingue tous les tons en *graves* & en *aigus*: on apelle grave celui d'un corps ſonore, dont les parties fremiſſent beaucoup plus lentement que celles d'un autre à qui on les compare, ou (ce qui eſt la même choſe,) qui, dans un certain tems, fait bien moins de vibrations que lui. On voit par cette définition, que le ton n'eſt grave ou aigu que par comparaiſon à un autre ton; & que l'une ou l'autre de ces deux qualités peut varier au-

XI. LEÇON.

tant qu'il peut y avoir de différences entre les nombres de vibrations que les corps ſonores peuvent faire dans un tems donné.

Mais quoique les tons puiſſent varier preſque à l'infini, eu égard à la comparaiſon des nombres, leurs différences ſe renferment dans des bornes beaucoup plus étroites, ſi l'on s'en tient au ſenſible ; car l'oreille la plus délicate ne diſtingue ces nuances, que quand il y a un intervalle aſſez conſidérable entre les nombres qui les produiſent. Par exemple, ſi l'on tend une corde de clavecin, de maniére qu'elle faſſe 200 vibrations dans une ſeconde, elle aura un certain ton ; ſi elle ſe trouve enſuite un peu plus tendue, & que dans un pareil tems elle faſſe 201, 202, ou 203 vibrations, elle aura ſûrement un ton plus aigu phyſiquement, mais non pas ſenſiblement, parce que le nombre des vibrations qu'elle fait en dernier lieu, n'eſt point aſſez différent du nombre de celles qu'elle fait d'abord.

Lors donc que l'on touche deux corps ſonores enſemble, comme deux cordes de clavecin ou de vielle,

leurs vibrations ont néceſſairement un certain rapport de nombres entr'elles, de ſorte qu'après un certain période, les deux cordes recommencent en même-tems ; & c'eſt cette eſpéce de réunion périodique, que l'on nomme *accord* ou *conſonance*.

Les accords ſont d'autant plus parfaits, que les vibrations rentrent ou ſe réuniſſent plus ſouvent, ou que leurs nombres, pour chaque tems, différent moins entr'eux. On appelle *uniſſon*, l'accord de deux cordes dont les vibrations ſe font une pour une ; celle des deux qui fait deux vibrations contre une, donne l'*octave* au-deſſus ; ſi elle en fait trois contre deux, elle donne *la quinte* ; quatre contre trois, *la quarte* ; cinq contre quatre, *la tierce majeure* ; ſix contre cinq, *la tierce mineure*.

Mais, comme on voit, tous ces accords d'une corde avec l'autre, n'ont rien d'abſolu ; le ton que je nomme octave, quinte, &c. deviendroit tout d'un coup toute autre choſe, ſi je changeois le ton de l'autre corde, qui me ſert d'objet de comparaiſon. Il en eſt de même du ſon

XI. LEÇON.

que je nomme grave ou aigu ; il change de dénomination ſans changer de nature, toutes les fois que le ſon auquel je le compare vient à changer.

C'eſt un inconvénient conſidérable en muſique de n'avoir pas un ton fixe & invariable, que l'on puiſſe toujours retrouver, & auquel on rapporteroit tous les autres. Cette eſpéce de ſifflet dont on ſe ſert pour déterminer le ton des voix & des inſtrumens dans un concert, ou ces flûtes que l'on dit être au ton de l'Opéra, ne ſont point des moyens sûrs pour éviter toute variation : l'expérience fait voir que tous les inſtrumens de cette eſpéce, comme les autres, ne gardent pas conſtamment leur état ; mais quand ils pourroient le garder, s'ils viennent à ſe perdre ou à ſe caſſer, comment retrouver le véritable ton ?

De tous les Phyſiciens, qui ſe ſont propoſés de procurer à la muſique ce ton fixe tant déſiré, perſonne que je ſache n'a travaillé avec plus de zéle & plus de ſuccès que M. Sauveur ; quoiqu'à dire vrai, les moyens qu'il a imaginés, ne me paroiſſent point encore marqués au coin de cette ſimplicité

plicité qui annonce une invention de pratique. C'eſt dans ſes propres écrits ou dans les extraits qu'on en a faits*, qu'il faut voir quels ont été ſes recherches à ce ſujet, & juſqu'à quel point il a réuſſi. Je me contenterai de dire ici que cet ingénieux & ſçavant Académicien, pour déterminer & fixer un ſon au-deſſous duquel on prît la ſuite des tons graves, & au-deſſus, celle des tons aigus, mit à profit une remarque qu'il fit, & qu'une oreille un peu attentive peut faire, en entendant accorder deux tuyaux d'orgues. La rentrée ou la réunion de leurs vibrations ſe fait ſentir par un ſon plus fort ; & le tems qui ſe paſſe d'une réunion à l'autre eſt quelquefois aſſez ſenſible pour être meſuré. On ſçait, par la nature des accords, combien il faut qu'un des deux tuyaux faſſe de vibrations dans le même tems que l'autre en fait un certain nombre; que de deux tuyaux accordés à l'octave, par exemple, l'un fait deux vibrations pendant que l'autre en fait une ſeulement. Si l'intervalle d'une rentrée à l'autre étoit aſſez ſenſible, on pourroit donc ſçavoir combien de tems

XI. LEÇON.

* *Hiſt. de l'Academ. des Scienc.* 1700. *p.* 134.

XI. LEÇON.

employent celui-ci pour faire deux, celui-là pour faire une vibration. Ainsi le tems pendant lequel se font les vibrations d'un certain ton étant déterminé par l'expérience, & le nombre des vibrations qui font les autres tons pendant le même tems, étant connu d'ailleurs, M. Sauveur prend pour le son fixe, celui qui fait 100 vibrations en une seconde ; & il appelle *octave-fixe-aiguë*, celle qui est au-dessus, c'est-à-dire, le son qui fait 200 vibrations en une seconde ; & *octave-fixe-grave*, celle qui est au-dessous, ou le son qui fait 50 vibrations en une seconde.

M. Sauveur ayant trouvé par expérience qu'un tuyau d'orgues d'environ 5 pieds ouvert, rendoit ce son fixe dont je viens de parler, compara cette longueur à celles de deux autres tuyaux dont l'un rendoit le son le plus grave, & l'autre le son le plus aigu que l'oreille humaine pût distinguer ; & ayant examiné, par la comparaison de leurs dimensions, combien chacun pouvoit faire de vibrations dans le tems d'une seconde, il trouva que le son le plus grave que nous puissions distinguer vient d'un corps sonore qui fait 12 vi-

brations $\frac{1}{2}$ par ſeconde, & que le ſon le plus aigu fait en pareil tems 6400 vibrations; & comme 12 $\frac{1}{2}$ eſt à 6400 à-peu-près dans le rapport de 1 à 512, on peut conclure que l'oreille eſt ſuſceptible de 512 degrés de ſenſations.

Si l'on a une fois un ton fixe par le moyen des tuyaux d'orgues, on peut l'avoir pour toutes ſortes d'inſtrumens; car une corde de viole, une flûte, un haut-bois, &c. peut ſe mettre à l'uniſſon avec le tuyau qui donnera le ton fixe.

La grandeur des vibrations ne fait rien au ton: quand le corps ſonore vient d'être touché, elles ſont d'abord plus étendues, & le ſon en eſt plus fort; mais quoiqu'enſuite elles deviennent plus petites, & que le ſon s'affoibliſſe en conſéquence, le ton ſubſiſte le même juſqu'à la fin, parceque les vibrations, quoique moins grandes à la fin qu'au commencement, ſont toujours de la même durée: c'eſt la propriété des corps à reſſort. Ceci ne doit pourtant s'entendre que du ſon principal, de celui que toute oreille entend, dès que le corps ſonore a été frappé; car

XI. Leçon.

lorsqu'on y fait plus d'attention, & à mesure que le son principal s'affoiblit, on distingue assez souvent d'autres tons, dont nous essayerons de rendre raison ci-après.

Une corde fait des vibrations d'autant plus fréquentes, & par conséquent rend un son d'autant plus aigu, qu'elle est plus courte, ou moins grosse, ou plus tendue. Si l'on veut donc en accorder deux qui soient de même matiére, il faut avoir égard à ces trois choses, à leurs longueurs, à leurs grosseurs, & à leurs degrés de tension.

1°. Si deux cordes également longues & grosses ne différent que par le dégré de tension, leurs vibrations, quant au nombre, sont comme les racines quarrées des puissances ou des forces qui les tiennent tendues;

C'est-à-dire, que si elles étoient tirées par des poids, & que l'une des deux le fût par un poids d'1 livre, & l'autre par un poids de 4 livres: comme la racine quarrée de 4 est 2, & que celle d'1 est 1; les vibrations de ces deux cordes, quant au nombre, seroient dans le rapport de 2 à 1: &, suivant le même principe, les

vibrations feroient dans le rapport de 3 à 2, fi les poids qui tendent les cordes étoient, l'un de 9, & l'autre de 4 livres; parce que la racine quarrée de 9 eft 3, & que celle de 4 eft 2.

2o. Si les cordes également groffes, également tendues, ne différent qu'en longueur, le nombre de leurs vibrations en tems égaux, eft en raifon inverfe de leur longueur;

C'eft-à-dire, que celle qui eft une fois plus courte, fait une fois plus de vibrations que l'autre, & que celle qui eft comme 2 à 3 par rapport à l'autre, fait 3 vibrations contre 2, &c.

3o. Si les cordes ne différent qu'en groffeur, elles font des vibrations dont les nombres font en raifon réciproque des diamétres; (*a*)

C'eft-à-dire, que fi l'une des deux eft une fois plus groffe, elle fait une fois moins de vibrations que l'autre, dans un tems donné. Si les diamétres font entr'eux comme 3 & 2, la plus groffe des deux ne fait que 2 vibrations contre 3, &c.

(*a*) Ceci ne doit s'entendre que des effets fenfibles, & non pas felon la rigueur mathématique : voyez-en les raifons, *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1709. *p.* 47. *& f.*

XI. Leçon.

VI. EXPERIENCE.

Preparation.

La *Fig.* 22. repréſente un inſtrument qu'on peut nommer *Sonométre*, parce qu'il ſert à meſurer & à comparer les ſons. C'eſt une caiſſe longue montée ſur un pied qui eſt composé de deux montans & d'une traverſe ; la table qui eſt de ſapin peut avoir trois pieds de longueur ſur 4 pouces de largeur ; & elle eſt percée de trois roſettes à-peu-près ſemblables à celle d'une guitarre ou d'un tambourin. A l'une des deux extrémités ſont deux léviers angulaires, qui reſſemblent à ceux dont on ſe ſert pour les ſonnettes dans les appartemens, & dont les bras forment un angle droit. Aux bras de ces léviers ſontattachés d'une part deux poids *A*, *B*, que l'on peut changer ; & de l'autre, deux cordes de violon que l'on tend avec les chevilles *C*, *D*, qui ſont à l'autre bout de la caiſſe. Ces deux cordes paſſent ſur deux chevalets fixes *E*, *F*, qu'elles touchent à peine, & ſur leſquels lorſqu'elles ſont tendues, on les ar-

rête, par le moyen d'une vis qui pousse dessus une petite piéce de bois. Il y a encore un autre chevalet *G*, qui glisse dans une coulisse d'un bout à l'autre de la caisse, dont le bord est divisé en pouces & en lignes ; de sorte qu'en appuyant un peu le bout du doigt sur une des deux cordes, on peut la mettre en tel rapport de longueur que l'on veut avec l'autre, sans changer sensiblement son degré de tension. Quand on veut tendre les cordes dans des proportions connues, on attache des poids dont on sçait la valeur, en *A* & en *B*, & l'on tourne les chevilles *C*, *D*, jusqu'à ce que les bras des leviers fassent des angles droits, tant avec les cordes sonores, qu'avec celles qui suspendent les poids.

Effets.

1°. Les deux cordes étant de même grosseur, & tendues avec des poids semblables, donnent l'unisson lorsqu'elles sont également longues; l'octave, quand l'une des deux est moitié plus courte que l'autre ; la quinte, quand elles sont l'une d'un

tiers plus courte que l'autre.

XI. LEÇON.

2°. Les deux cordes étant de la même longueur & de la même grosseur, s'accordent à l'octave, quand l'une est tendue par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres : elles s'accordent à la quinte, quand les deux poids qui les tiennent tendues, sont l'un de 4 & l'autre de 9 livres.

3°. Les deux cordes étant également longues, & tendues par des poids égaux, sont d'accord à l'octave, quand l'une est une fois plus grosse que l'autre ; à la quinte, quand le diamétre de l'une est à celui de l'autre comme 3 à 2.

EXPLICATIONS.

On sçait par tout ce qui a été dit précédemment, que les tons dépendent d'un certain nombre de vibrations que fait le corps sonore, dans un tems déterminé ; & que les accords ne sont autre chose que les différens rapports de ces nombres entr'eux. Ainsi, puisque je sçais que l'octave doit s'entendre, toutes les fois qu'il y a deux vibrations contre

une ; la quinte, quand il y en a 3 contre 2, &c. je puis donc, en toute sûreté, conclure ces rapports de nombres, par les accords que j'entends ; ainsi quand les deux cordes de mon sonométre sont à l'unisson, quelle que puisse être alors la longueur, grosseur, ou tension de chacune, il est certain que leurs vibrations sont isochrones ; c'est-à-dire, qu'elles en font une pour une, ou un même nombre en même tems : & de même, quand elles sont d'accord à l'octave, ou à la quinte, &c. je puis dire, c'est que les vibrations qu'elles font dans un tems donné, sont dans le rapport de 1 à 2, de 3 à 2, &c.

Or, on a vû, par les résultats précédens, qu'en réglant la longueur, la grosseur, & le degré de tension des cordes, comme nous avions dit* qu'il falloit faire, pour avoir certains rapports dans les nombres des vibrations, il en résulte des accords qui dépendent essentiellement de ces proportions, & qui ne vont point sans elles. Il est donc évidemment prouvé par notre expérience, que les vibrations sont, comme nous l'avons

* P. 460. & 461.

XI. Leçon.

dit, d'autant plus promptes que la corde ſonore eſt plus courte, plus menue ou plus tendue, & que leur frequence ſuit les rapports que nous avons établis.

Ce que dit l'expérience à cet égard ſe trouve parfaitement d'accord avec le raiſonnement. Car puiſque tous les corps à reſſort ont des vibrations d'autant plus promptes, que leurs parties ſont plus roides, une corde qui eſt plus tendue, & dont les parties ſont plus tirées, doit faire des vibrations plus promptes, & rendre par conſéquent un ſon plus aigu : & au contraire, celle qui l'eſt moins, & dont les parties ſont plus lâches, doit avoir des vibrations moins fréquentes, ce qui lui donne un ſon plus grave. Or une corde eſt moins tendue qu'une autre, quoiqu'elle ſoit tirée par un même degré de force, ſi elle eſt plus longue ou plus groſſe, parce qu'alors cette force qui la tend agit ſur un plus grand nombre de parties, qui partagent ſon effort ; & par conſéquent chacune d'elles, conſidérée comme un petit reſſort ſe trouve moins tendue qu'elle ne le ſeroit, ſi

elle faiſoit partie d'une corde, ou plus fine ou plus courte.

XI. LEÇON.

APPLICATIONS.

L'expérience précédente nous apprend pourquoi dans tous les inſtrumens de muſique, la partie ſonore, c'eſt-à-dire, celle qu'on touche pour exciter les ſons, eſt toujours diſpoſée de maniére qu'on en peut changer facilement ou les dimenſions, ou le degré de tenſion. Car c'eſt par ces deux moyens qu'ils ſont propres à exprimer la compoſition du Muſicien. Les chanterelles d'une vielle, par exemple, montées à l'uniſſon, figurent les airs, parce que les touches que l'on pouſſe les accourciſſent plus ou moins pour former les tons. Au violon, ce ſont les doigts qui font l'office de touches en ſerrant les cordes ſur les diviſions du manche. Au clavecin, où chaque corde eſt fixée à un ſeul ton, l'étendue du jeu vient d'un plus grand nombre de cordes, & de leurs différentes longueurs & groſſeurs.

Dans un inſtrument à vent, c'eſt encore en changeant les dimenſions

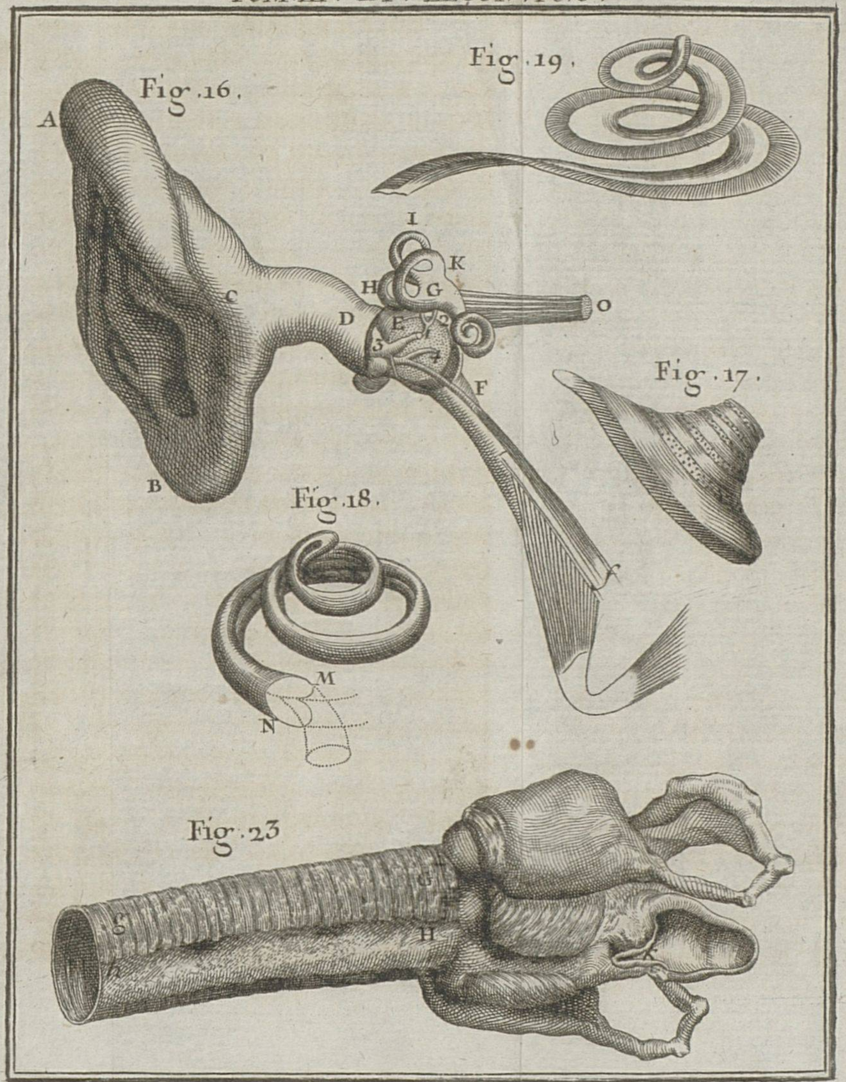
XI. LEÇON.

du corps sonore, que l'on acquiert une suite de tons plus graves ou plus aigus les uns que les autres. Une flûte ou un flageolet contient une colonne d'air, qui est, à proprement parler, la partie sonore de cet instrument, comme je l'ai déjà dit ci-dessus. Mais cette colonne d'air change en quelque façon de longueur, selon le nombre des trous que l'on débouche ou que l'on tient fermés : puisque chacun de ces trous faisant communiquer l'air extérieur avec celui du tuyau, empêche que ce dernier ne reçoive dans toute son étendue, ou d'une maniere complette, les vibrations qui viennent de l'embouchure.*

* *Voyez l'explicat. de M. Euler. Tentamen. novum theor. musicæ.*

L'organe de la voix pourroit être comparé aux instrumens à vent, pourvû néanmoins qu'on n'y cherchât point une similitude fort exacte ; car nous ne voyons pas que l'art en ait encore produit aucun qui imite d'assez près la nature. La *trachée-artère Gg, Hh, Fig.* 23. ce canal par où l'air qu'on respire entre dans les poulmons, est terminé vers la bouche par une petite fente ovale *k*, qu'on nomme *la Glotte*. La ressemblance





Brunet Del. et fecit.

qu'elle a avec une flûte, avoit fait croire anciennement, que la voix se formoit dans cette partie comme le son dans ces sortes d'instrumens. Mais M. Dodard considérant que le son d'une flûte est excité par l'air qui entre dans le tuyau, au lieu que la voix l'est communément par celui qui sort de la trachée, se détermina à croire, avec toute sorte de vraisemblance, que la glotte est l'organe principal, & que le canal qu'elle termine ne fait que l'office de porte-vent.

Selon le systême de cet habile Physicien *, l'air sortant avec plus ou moins de vîtesse par la glotte, qui a pour cet effet la faculté de se dilater & de se retrécir, forme des sons plus ou moins graves. Le son formé de cette maniére va retentir dans la cavité de la bouche, & dans celle des narines; & en sortant il s'articule par le mouvement de la langue & des lévres. Ainsi la trachée fournit l'air, la glotte forme la voix, & en régle le ton, la langue & les lévres en font des paroles.

* *Mém. de l'Acad. des Sc. 1700. p. 244.*

Voilà, dit-on, comme les choses se passent pour l'ordinaire; mais on

XI. LEÇON.

peut cependant parler & chanter en aſpirant ; & il y a des gens qui, par habitude, ou par une certaine diſpoſition d'organes, font entendre une voix ſourde & étouffée qui ſe forme par l'air qui entre dans la trachée : on les appelle *Ventriloques ;* c'eſt-à-dire, qui parlent du ventre. On les regardoit autrefois comme magiciens & comme poſſédés du démon ; il ſe trouve même de bons auteurs * à qui il paroît que cette façon de parler en a impoſé auſſi-bien qu'au peuple.

Liranus, in cap. 18. Deut. Caſſerius, de vocis organo.

Si l'on doit attribuer les différens tons de la voix ou du chant aux différentes ouvertures de la glotte, il faut que ſon petit diamétre qui n'a au plus qu'une ligne, puiſſe changer 9632 fois de longueur, ſelon le calcul de M. Dodard, pour fournir à toutes les différentes nuances de tons dont la voix humaine eſt ſuſceptible. Une telle diviſion peut-elle avoir lieu dans une ſi petite étendue ? c'eſt ce qu'on a peine à concevoir. La glotte feroit-elle donc l'office d'une anche de haut-bois ou de muſette, qui, comme l'on ſçait, n'eſt chargée que de produire le ſon, & non pas les

tons ; & le canal de la bouche qui s'allonge, se retrécit, & se dilate suivant la qualité des tons, feroit-il celui d'un chalumeau qui contient plus ou moins d'air, & qui devient capable par-là d'un son plus ou moins grave? ou bien ces deux parties concourroient-elles ensemble à la formation des tons, l'une comme une anche qui deviendroit plus ou moins grande, plus ou moins élastique, l'autre comme un tuyau qui changeroit de dimensions ?

M. Ferrein vient de répandre un grand jour sur cette question, en prouvant, par des expériences aussi décisives qu'elles sont ingénieuses & délicates, que les deux lévres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre à la maniére d'une anche; mais que chacune d'elles frottée par l'air qui vient des poulmons, résonne comme une corde sur laquelle on traîne un archet. Ses observations lui ont fait connoître, que les bords de ces deux lévres sont des cordons tendineux attachés de part & d'autre à des cartilages qui servent à les tendre plus ou moins : il trouve dans ces

XI. LEÇON.

différens dégrés de tenſion dont ces parties ſont ſuſceptibles, une explication naturelle de tous les tons dont la voix humaine eſt capable; car on ſçait en général, qu'une corde plus ou moins tendue rend un ſon plus ou moins aigu.

Mais comment M. Ferrein a-t-il pu ſçavoir que les deux lévres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre; que le ſeul retréciſſement de cette partie ne ſuffit pas pour faire monter la voix des tons graves aux tons aigus; & que l'air lancé des poulmons par la trachée-artére donne un mouvement de vibration à ces cordons tendineux, qu'il a nommés pour cela *Cordes vocales*? ne faudroit-il pas avoir vû l'action même de ces parties pour juger de la maniére dont elle ſe fait? & comment porter la vûe ſur un méchaniſme que la nature n'a point mis à la portée de nos yeux?

L'ingénieux auteur de ces découvertes, ne pouvant point tenter ces expériences ſur des ſujets vivans, imagina de rendre la voix aux morts. Il adapta un ſoufflet à des trachées toutes fraîches; l'air qu'il fit paſſer avec

précipitation

précipitation par la glotte rendit des sons, & ses conjectures devinrent des connoissances. *Voyez les Mém. de l'Académ. des Sc. année* 1741. *p.* 409.

XI. LEÇON.

Quand une fois la voix est formée, & que son ton est réglé, il faut, pour être agréable, qu'elle sorte & par la bouche & par le nez ; elle est tout-à-fait différente de ce qu'elle a coutume d'être, lorsqu'elle ne résonne que dans l'une de ces deux cavités ; on n'aime point à entendre quelqu'un qui parle ou qui chante ayant les narines bouchées : on dit communément qu'il parle du nez ; expression tout-à-fait impropre, comme on voit, puisque c'est justement quand on n'en parle point, qu'on s'attire ce reproche.

On conçoit, sans aucune difficulté, comment deux corps sonores exécutent séparément leurs vibrations, comment l'un des deux, par exemple, en achéve 4 pendant que l'autre n'en fait que 2 ou 3, parce que la fréquence de ces vibrations dépend d'un certain degré de ressort que chacun posséde séparément. Mais comment est-ce que deux tons différens subsis-

XI. LEÇON.

tent en même-tems dans le même air, si les tons ne sont dans l'air, que ce qu'ils sont dans le corps sonore, une fréquence déterminée de vibrations? comment la même masse d'air peut-elle rendre distinctement & en même tems les sons de deux cordes qui sont à l'octave l'une de l'autre, si celle-ci exige 100 vibrations, & celle-là 200 par seconde ?

Ce n'est encore là que la moitié de la difficulté ; car quand bien même ces deux mouvemens pourroient se communiquer & se conserver sans confusion dans le même air, il reste encore à sçavoir par quel moyen l'organe qui reçoit en même-tems les deux impressions, n'éprouve point une sensation mixte ou composée de l'une & de l'autre, comme l'œil voit du vert, quand il est frappé en même tems par deux rayons, dont l'un est jaune & l'autre bleu.

On ne s'est jamais trop mis en peine de répondre à la derniére de ces deux questions ; quant à la premiére, on a prétendu le faire, en comparant le mouvement de l'air qui transmet les sons aux ondulations circulaires

qu'on fait naître dans une eau tranquille, lorſqu'on y jette des pierres. Car de même, dit-on, que ces ondulations s'entre-coupent ſans ſe confondre, & s'étendent ſéparément juſqu'au bord du baſſin, de la même maniére auſſi l'air ſe charge de différens tons enſemble, & les tranſmet ſans confuſion juſqu'à l'oreille.

Mais, outre que ce n'eſt point expliquer un phénoméne que de le comparer à un autre; cette comparaiſon même eſt défectueuſe, & l'on voit évanouir preſque toute ſimilitude, quand on fait attention à la nature des mouvemens de part & d'autre.

Lorſqu'une pierre tombe dans l'eau, elle abbaiſſe la partie du fluide qui ſe trouve ſous elle, & en même-tems elle éléve les parties voiſines; chacune de ces parties ſoulevées retombe avec accélération plus bas que ſon niveau, & fait monter celle qui eſt immédiatement après, ce qui continue juſqu'à ce que tout ait repris ſon équilibre. Ces balancemens ſe faiſant dans une infinité de rayons qui partent d'un centre commun, repréſentent à l'œil ces ondulations circulai-

XI. LEÇON.

res dont il s'agit, qui se ralentissent à mesure qu'elles s'étendent, & qui deviennent d'autant plus lentes qu'elles sont plus foibles, soit par la cause qui les a fait naître, soit par le trajet qu'elles ont déja fait. Mais le mouvement du son dans l'air est toute autre chose ; ce sont les vibrations d'un fluide élastique qui se transmettent avec une vitesse uniforme, & qui ne deviennent ni plus promptes ni plus lentes, quand leur grandeur vient à varier.

D'ailleurs quand les ondulations de l'eau s'entrecoupent, on ne peut nier qu'à l'endroit du choc, le mouvement ne se compose des masses & des vîtesses des parties qui se rencontrent, & qu'un corps placé à cette intersection ne dût recevoir le mouvement composé. Il n'en est pas de même de deux sons qui agissent sur le même organe ; chacun fait son impression comme s'il étoit seul, & l'oreille les distingue par deux sensations différentes, quoique simultanées. Ainsi la comparaison des ondes n'explique rien, & laisse subsister en leur entier, les deux difficultés que j'ai exposées.

M. de Mairan, après avoir donné des preuves évidentes de cette disparité, propose sur la propagation des sons un systême si simple, mais en même-tems si heureusement imaginé, qu'on oublie bien-tôt que c'est une hypothése, quand on l'applique aux phénoménes ; il a cela de commun avec celui des couleurs, comme son auteur ressemble à Newton par bien des endroits.

S'il étoit question de décider, si les molécules qui composent la masse de l'air sont toutes égales entr'elles, ou s'il y en a de plus petites les unes que les autres à toutes sortes de degrés, & qu'il fallût adopter l'une de ces deux suppositions, quel parti faudroit-il prendre ? lequel des deux paroîtroit le plus vraisemblable ? comme ces molécules sont des assemblages fortuits de parties plus subtiles, qui se joignent & se désunissent par mille causes différentes, ne seroit-on pas porté à croire qu'elles différent de grandeur à l'infini, plutôt que de supposer gratuitement, qu'elles se ressemblent toutes parfaitement ?

Cette pensée sur laquelle est fon-

XI. LEÇON.

dé tout le ſyſtême de M. de Mairan, eſt la ſeule qui ne ſoit que vraiſemblable ; toutes les autres ſont des conſéquences ſi néceſſaires de ce principe, (ſi une fois on l'admet,) qu'on ne peut point s'y refuſer.

Si les molécules de l'air ſont de différentes grandeurs, elles doivent différer auſſi par leurs degrés de reſſort, comme une même lame d'acier feroit des reſſorts plus roides les uns que les autres, ſi elle étoit diviſée en portions inégales. Par-tout où l'on place un corps ſonore, il doit donc trouver dans la maſſe commune, des particules d'air dont le reſſort eſt analogue au ſien, & capables par conſéquent de recevoir, de conſerver, & de tranſmettre ſes vibrations. Ainſi deux cordes de différens tons ſe font entendre par la même maſſe d'air, mais par différentes parties de cette maſſe. Suivant cette explication, on conçoit facilement comment les tons ne ſe confondent point dans le fluide qui les tranſmet ; car de cette maniére, ce fluide, eû égard à ſes différentes parties, peut ſe prêter à des vibrations plus fréquentes les unes que les autres.

Quant à l'impreſſion des ſons ſur l'organe, il faut ſe ſouvenir que la lame ſpirale, qu'on doit regarder comme la partie principale, eſt un aſſemblage de fibres qui vont toujours en diminuant de longueur, depuis la baſe jusqu'à la pointe du limaçon, à-peu-près comme les cordes d'un pſalterion ou d'un clavecin ; chacune a une élaſticité proportionnelle à ſa longueur, ce qui la rend propre à être ébranlée par des vibrations d'une certaine fréquence ſeulement. Ainſi, quand deux tons parviennent à l'organe en même-tems, chacun d'eux fait ſon impreſſion ſur la fibre dont le reſſort eſt analogue à la fréquence de ſes vibrations ; & ces deux ſenſations ſéparées font naître deux idées diſtinctes : en un mot, il arrive aux fibres de la lame ſpirale ce qu'on remarque aux cordes d'un clavecin, ou à tout autre corps ſonore dont on prend le ton ; ſi l'on touche une corde, on fait réſonner celle qui eſt à l'uniſſon, non ſeulement ſur le même inſtrument, mais même ſur un autre qui ſeroit placé à côté ; ſi l'on parle à voix haute dans un magaſin de verre-

XI. LEÇON.

ries, dans une boutique de Chaudronnier, dans une office où il y a beaucoup de vaiſſelle creuſe, on entend toujours réſonner quelque piéce, tandis que les autres reſtent en ſilence; & ſi l'on change de ton, c'eſt une autre piéce qui répond.

Mais, dira-t-on, comment ſe peut-il faire qu'une corde que l'on met en jeu, choiſiſſe préciſément les molécules d'air qui lui conviennent; & que l'air intérieur de l'oreille, qui reçoit ſon mouvement à travers la membrane du tambour, attaque avec un pareil choix les fibres qui ne ſont propres à ſentir qu'un certain ſon?

Cette corde ne choiſit point en effet, & l'air de l'oreille frappe indifféremment toute la lame ſpirale; mais les effets ſont les mêmes que s'il y avoit du choix: car quoique pluſieurs corps qui ont différens dégrés de reſſort, commencent leurs vibrations en même tems, ſi la cauſe qui les entretient eſt fixée à un certain degré de fréquence, ces vibrations ne peuvent continuer que dans ceux dont le reſſort eſt analogue à cette fréquence; car ceux qui ſeroient de nature

ture à faire, par exemple, une vibration & demie contre une, ne se trouveroient point à tems comme les autres, pour recevoir la seconde impulsion; & leur mouvement devroit se ralentir ou cesser. Le corps sonore agit donc d'abord sur toutes les molécules d'air qui l'entourent; mais il ne continue efficacement son action que sur celles qui sont propres à se mouvoir précisément comme lui. C'est la même chose pour les fibres de la lame spirale: & comme nos sensations ne s'accomplissent que par un ébranlement d'une certaine durée, la premiére secousse qui attaque toute la partie indistinctement, est déja passée, lorsque l'ame s'apperçoit de l'impression qui continue, sur les fibres qui sont propres à cette espéce de mouvement.

Il ne faut pas croire cependant, qu'une corde que l'on pince, ne mette & n'entretienne absolument en jeu que les particules d'air qui ont une analogie précise avec son ressort, elle agit aussi sur celles qui sont *harmoniques*; c'est-à-dire, dont les vibrations recommencent avec les siennes après

XI. LEÇON.

un certain nombre, & elle agit plus fortement ſur celles qui ſont plus harmoniques ou plus prochainement rentrantes. La même corde fait donc réſonner d'abord & beaucoup plus fortement que les autres, les particules d'air qui ſont propres à faire autant de vibrations qu'elle, & c'eſt ce qui fait le ton principal ; enſuite, & avec moins de force, celles qui ne font qu'une vibration contre deux ; après ces derniéres, & encore plus foiblement, celles qui ne font que deux vibrations contre trois, &c. de ſorte qu'on peut dire qu'un ſeul & même corps ſonore fait toujours un petit concert : à la vérité, ces ſons harmoniques ſont couverts par le ſon principal ; mais quand celui-ci vient à s'affoiblir, une oreille un peu délicate n'a pas de peine à les diſtinguer.

On pourroit demander ici, 1ment, pourquoi nous n'entendons qu'une fois le même ſon, quoique nous ayons deux oreilles auſſi ſenſibles l'une que l'autre : 2ment, par quelle raiſon, parmi tant de différens tons, il y en a qui ſe font mieux entendre que

d'autres à certaines gens qui ont l'ouie dure : 3^ment^, comment les bruits ou les ſons d'une certaine eſpéce, ou d'une certaine force, nous remuent les entrailles, nous font du plaiſir ou de la peine.

L'unité de ſenſation, quoique produite par deux impreſſions diſtinctes, vient ſans doute de ce que le ſon attaque des parties parfaitement pareilles, & qui ont un point de réunion commun dans le cerveau ; & il eſt à préſumer qu'on n'entendroit point de l'une des deux oreilles le ſon qui frapperoit d'un côté la 4e fibre de la lame ſpirale, par exemple, & de l'autre la 6e de la membrane du même nom. Ce n'eſt point le ſeul exemple qu'il y ait dans la nature, de deux organes ſemblables qui ne repréſentent qu'une fois leur objet, quoiqu'ils agiſſent également. Ordinairement nous ne voyons point double, quoiqu'il ſoit conſtant que l'image ſe peint également dans les deux yeux ; & c'eſt par une raiſon aſſez ſemblable à celle que je viens d'expoſer, & que je détaillerai en parlant de la viſion.

L'efficacité de certains ſons préfé-

rablement à d'autres qui ſont même quelquefois plus forts, pourroit être attribuée à quelque vice de la lame ſpirale qui ne l'occuperoit pas toute entiére. Si, par exemple, les deux extrémités de cette partie étoient devenues moins ſenſibles que le milieu, par quelque accident que ce pût être, la perſonne qui auroit cette maladie n'entendroit facilement que les tons mitoyens entre les plus graves & les plus aigus ; & dans la quantité de monde qu'elle verroit, il ſe trouveroit infailliblement quelqu'un dont le ton de la voix ſe porteroit à cette partie ſaine, & qui ſe feroit entendre ſans parler plus haut que de coutume.

Enfin les mouvemens que nous reſſentons au dedans de nous-mêmes, lorſque nous entendons des ſons ou des bruits d'une certaine eſpéce, s'expliquent encore avec facilité, (ſi l'on ne cherche que la cauſe générale,) par différentes impreſſions qui ſe font ſur le genre nerveux, qui s'étend à toutes les parties de notre corps. Car les nerfs ſont comme des cordes élaſtiques differemment tendues, plus groſſes & plus longues les unes que

les autres. Or parmi toutes ces espéces de tremoussemens que les corps sonores peuvent imprimer à l'air qui nous touche de toutes parts, il est presqu'impossible qu'il n'y en ait quelqu'une, dont les fibres nerveuses de certaines parties ne soient susceptibles. Lorsque l'impression est douce & modérée, nous la ressentons avec plaisir ; mais quand elle est trop forte, qu'elle tend à détruire ou à déranger l'œconomie des parties, l'ame qui veille à la conservation du corps qu'elle anime, la désapprouve, s'inquiéte ; & c'est ce qu'on nomme *déplaisir* ou *douleur*.

Voilà en gros comment les sons, selon leur espéce, excitent nos passions : certains airs inspirent la mollesse & l'amour de la volupté ; d'autres la hardiesse & le courage ; ceux-ci la tristesse, ceux-là la gayeté, &c. mais s'il falloit désigner les causes prochaines, & dire déterminément pourquoi telle musique affecte de telle maniére, l'entreprise, je crois, seroit téméraire ; il faudroit connoître plus à fond ce que nous sommes, & la liaison qu'il y a entre nos différentes facultés.

XI. LEÇON.

L'hiſtoire de la Tarentule, ſi elle eſt vrai, (*a*) eſt un exemple fort ſingulier des effets de la muſique ſur le corps humain : la piquûre de cet inſecte, qui eſt une groſſe eſpéce d'araignée aſſez commune en Italie, envenime, dit-on, le ſang, & cauſe des accidens très-fâcheux, qui vont quelquefois juſqu'à la mort. Quand on s'apperçoit que quelqu'un a cette maladie, on eſſaye en ſa préſence différens airs, & différens inſtrumens, juſqu'à ce qu'on ait trouvé celui qui convient pour la guériſon ; on s'en apperçoit à certains geſtes & à certains mouvemens cadencés par leſquels le malade s'agite : on dit alors qu'il danſe, peut-être auſſi improprement que les Anciens diſoient qu'on meurt en riant qnand on a mangé de la ciguë, à cauſe de quelques grimaces qu'ils voyoient faire en expirant, à ces ſortes d'empoiſonnés. Quoi qu'il en ſoit, ces agitations & ces ſauts excitent ordinairement une tranſpiration ſalutaire, qu'on a ſoin

(*a*) Depuis la 1re édition de ce Vol. j'ai eu occaſion de voir M. Serrao ſçavant Médecin de Naples, qui m'a inſpiré beaucoup de défiance ſur tout ce que l'on raconte de la Tarentule. Voyez ſon Ouvrage *della Tarantola*.

de réitérer de tems en tems par le même moyen, jusqu'à ce que les symptômes cessant, annoncent que tout le venin est dissipé.

Ce n'est pas seulement dans cette maladie que la musique peut avoir de bons effets; on a vû des gens attaqués de fiévres chaudes, être touchés d'un air de violon, se lever, sauter, suer de fatigue, & être guéris*.

* Hist. de l'Acad. des Scienc. 1708. page 22.

Enfin on attribue aussi au bruit du tonnerre nombre d'effets merveilleux, & dont plusieurs semblent avoir de la réalité; mais est-ce le tremoussement seul que ce météore excite dans l'air qui en est la cause? ou bien doit-on s'en prendre aux exhalaisons qui régnent très-communément dans les tems d'orage? c'est ce qu'il n'est pas facile de décider.

Des Vents.

Le Vent n'est autre chose qu'un air agité, une portion de l'atmosphére qui se meut comme un courant avec une certaine vîtesse & avec une direction déterminée.

Ce météore, eu égard à sa direction, prend differens noms selon les

XI. LEÇON.

différens points de l'horizon d'où il vient. On appelle vent de Nord, de Sud, d'Eſt ou d'Oueſt, celui qui ſouffle de l'un de ces quatre points cardinaux. Vent de Nord-Eſt, de Sud-Oueſt, &c. celui qui tient le milieu entre le Nord & l'Eſt, entre le Sud & l'Oueſt, &c. vent de Nord-Nord-Eſt, de Sud-Sud-Oueſt, &c. celui qui tient une fois plus du Nord que de l'Eſt, une fois plus du Sud que de l'Oueſt, &c. Communément cette diviſion des vents va juſqu'à trente-deux. *Voyez la Fig.* 24. elle pourroit aller plus loin, s'il étoit poſſible d'obſerver toutes leurs variations.

On peut diſtinguer principalement trois ſortes de vents : les uns qu'on appelle *généraux* ou *conſtans*, parce qu'ils ſoufflent ſans ceſſe dans une certaine partie de l'atmoſphére ; tels ſont ceux qu'on nomme *alliſés*, & qui régnent continuellement entre les deux tropiques, & à quelque diſtance aux environs : les autres, qui ſont *périodiques*, qui commencent & finiſſent toujours dans certains tems de l'année, ou à certaines heures du jour, comme les *mouſſons* qui ſont

Sud-Eſt, depuis Octobre juſqu'en Mai, & Nord-Oueſt depuis Mai juſqu'en Octobre entre la côte de Zanguebar & l'Iſle de Madagaſcar, ou bien le *vent de terre* & le *vent de mer* qui s'élévent toujours, celui-ci le matin & l'autre le ſoir. D'autres enfin qui ſont *variables*, tant pour leur direction, que pour leur vîteſſe & pour leur durée.

L'hiſtoire des vents eſt aſſez paſſablement connue, par les obſervations de pluſieurs Phyſiciens qui ont voyagé, ou qui ſe ſont appliqués dans leur pays pendant nombre d'années à la connoiſſance de ce météore. Mr. Muſchenbroek en a fait une diſſertation fort curieuſe *, où il a fait entrer non ſeulement ce qu'il a obſervé lui-même, mais encore tout ce qu'il a pû recueillir des écrits de MM. Halley, Derham, &c. ſon ouvrage ſe trouve par-tout; j'y renvoye le lecteur. Mais il s'en faut bien que nous ſoyons autant inſtruits touchant les cauſes; j'entends les plus éloignées, celles qui occaſionnent les premiers mouvemens dans l'atmoſphére : car on ſçait en général que les vents vien-

* *Eſſais de Phyſ. tome* 2. p. 878. *Voyages de Dampier, tome* 2.

XI. LEÇON.

nent immédiatement d'un défaut d'équilibre dans l'air ; parce que toutes les fois que certaines portions de l'atmosphére deviennent plus chargées, plus denses, plus élevées ou plus pressées que les autres, étant alors plus pésantes, elles doivent s'échapper, s'écouler, par où il y a moins de résistance, & pousser devant elles les autres parties qui sont plus foibles, à-peu-près comme l'eau d'un canal, soulevée dans un endroit par une pierre qu'on y jette, se meut par ondes d'un bout à l'autre; mais qui est ce qui a jetté la pierre, quand nous voyons l'atmosphére s'agiter? Voilà ce qu'on ne sçait que fort-imparfaitement. *

* *Voyez les Oeuvres de Mariotte*, p. 340.

Les Physiciens qui ont raisonné sur cette matiére, conviennent tous que les vents peuvent être occasionnés par plusieurs causes différentes : le froid & le chaud qui ne régnent que dans une portion de l'atmosphére y changent la densité de l'air, & par conséquent son volume, soit en plus, soit en moins ; & alors les parties voisines sont poussées plus loin, ou bien elles se rapprochent davantage. Si la cause qui raréfie l'air est

réglée & continuelle, on conçoit bien que cette régularité influe ſur le vent qu'elle produit; ainſi c'eſt avec vraiſemblance qu'on attribue les vents qui régnent de l'Eſt à l'Oueſt dans la Zone torride, au mouvement journalier de la terre: car cette portion de l'atmoſphére qui eſt renfermée entre les deux tropiques, préſentant ſucceſſivement toutes ſes parties au ſoleil, ſouffre par la chaleur de cet aſtre des raréfactions qui changent continuellement, & avec régularité, l'équilibre de l'air; & comme le mouvement apparent du ſoleil s'étend en ſix mois de l'un à l'autre tropique, ces vents généraux doivent ſouffrir quelques variations périodiques, & relatives aux différens aſpects du ſoleil, comme on l'obſerve effectivement. Des exhalaiſons qui s'amaſſent & qui fermentent enſemble dans la moyenne région de l'air, peuvent encore occaſionner des mouvemens dans l'atmoſphére; c'eſt la penſée de M. Homberg & de quelques autres ſçavans: & ſi les vents peuvent naître de cette cauſe, comme il eſt probable, on ne doit point être ſurpris

XI. LEÇON.

qu'ils soufflent par secousses & par bouffées, puisque les fermentations ausquelles on les attribue, ne peuvent être que des explosions subites & intermittantes.

Ces fermentations arrivent très-fréquemment dans les grottes souterraines, par le mêlange des matiéres grasses, sulfureuses & salines qui s'y trouvent ; aussi plusieurs Auteurs ont-ils attribué les vents accidentels à ces sortes d'éruptions vaporeuses. Connor rapporte * qu'étant allé visiter les mines de sel de Cracowie, il avoit appris des Ouvriers & du maître même, que des recoins & des sinuosités de la mine, il s'éléve quelquefois une si grande tempête, qu'elle renverse ceux qui travaillent, & emporte leurs cabanes : Gilbert, Gassendi, Scheuchzer, &c. font mention d'une grande quantité de cavernes de cette espéce, d'où il sort quelquefois des vents impétueux, qui prenant leur naissance sous terre, se répandent & continuent quelque tems dans l'atmosphére.

* *Dissert. Medico-phys. Art. III. p. 33.*

On cite encore l'abbaissement des nuages, leurs jonctions, & les gros-

ses pluies, comme autant de causes qui font naître, ou qui augmentent le vent; & en effet une nuée est souvent prête à fondre par un tems calme, lorsqu'il s'éléve tout-à-coup un vent très-impétueux; la nuée presse l'air entr'elle & la terre, & l'oblige à s'écouler promptement.

Enfin, s'il est permis de hazarder des conjectures après ces probabilités, ne pourroit-on pas encore attribuer l'origine du vent à la grande quantité d'air qui se dégage des mixtes, en certains lieux & en certaines saisons? car nous avons fait voir à la fin de la Leçon précédente, que cet air, lorsqu'il est dégagé, tient beaucoup plus de place dans l'atmosphére, qu'il n'en occupoit dans les matiéres dont il faisoit partie. Or en automne, par exemple, s'il fait un tems humide & chaud qui procure une prompte & abondante putréfaction des plantes & des feuilles qui sont tombées des arbres, l'atmosphére doit s'enfler au-dessus des endroits où ces effets arrivent; elle doit refluer sur les parties voisines; celles-ci sur d'autres, & peut-être assez sen-

XI. LEÇON.

ſiblement, pour faire ce qu'on nomme du vent.

On pourroit pouſſer cette idée plus loin, en la prenant par le côté oppoſé; s'il étoit vrai que la décompoſition des mixtes, pût rendre aſſez promptement une quantité d'air capable d'interrompre l'équilibre de l'atmoſphére, on pourroit penſer auſſi qu'au printems & dans les endroits où la nature travaille le plus à toutes ſes productions, il doit s'abſorber beaucoup d'air, & qu'il peut ſe trouver telles circonſtances, où l'équilibre de l'atmoſphére en pourroit être altéré. Mais ne nous livrons point avec trop de confiance à une imagination, qui n'eſt rien moins que fondée en preuves ſolides.

Pluſieurs Phyſiciens ont eſſayé de meſurer la vîteſſe des vents, en lui donnant à emporter des petites plumes & d'autres corps légers; & en examinant combien il leur faiſoit faire de chemin dans un tems déterminé. Mais quoique ces ſortes d'expériences paroiſſent très-ſimples & d'une extrême facilité; ceux qui les ont faites, ſont ſi peu d'accord entr'eux

ſur les réſultats, qu'on n'en peut rien conclure de certain. M. Mariotte conclut la vîteſſe du vent le plus impétueux de 32 pieds par ſeconde, & M. Derham la trouve de 66 pieds d'Angleterre en pareil tems, c'eſt-à-dire, environ une fois plus grande; d'où peut venir cette différence? c'eſt que ces deux Sçavans n'avoient point de régle pour juger préciſément, quel eſt le vent le plus impétueux; & apparemment le premier a pris pour le plus fort de tous, un vent qui pouvoit l'être une fois plus.

Les girouettes ordinaires, comme on ſçait, enſeignent la direction du vent: mais elles ne l'enſeignent qu'à ceux qui peuvent porter la vûe au haut des édifices où elles ſont placées, & qui ſe ſont orientés, c'eſt-à-dire, qui connoiſſent les points principaux de l'horiſon du lieu. Pour rendre l'uſage de cet inſtrument plus commode, au lieu de faire tourner la girouette ſur ſa tige, on l'y attache de maniére qu'elle la faſſe tourner avec elle; & à l'autre bout de cette tige, qui répond, ſi l'on veut, dans un appartement, on pratique un pignon qui mene une roue dentée, & cette

XI. LEÇON.

roue une aiguille qui marque les vents ſur un cadran. *Voyez les Récréations Mathématiques d'Ozanam. Tom. 2. pag. 45. Edit. 1694.*

La force du vent, comme celle des autres corps, dépend de ſa vîteſſe & de ſa maſſe, c'eſt-à-dire, de la quantité d'air qui ſe meut ; ainſi le même vent fait d'autant plus d'effort que l'obſtacle ſur lequel il agit, lui préſente directement plus de ſurface ; c'eſt pour cette raiſon qu'on déploye plus ou moins les voiles d'un vaiſſeau, qu'on habille plus ou moins les aîles d'un moulin à vent, & que les arbres ſont moins ſujets l'hyver que l'été, à être rompus par la violence des vents, parce que dans la premiére de ces deux ſaiſons, n'étant point garnis de feuilles, ils leur donnent moins de priſe.

On peut connoître la force relative des vents par le moyen d'un petit moulin, dont l'arbre eſt garni d'une fuſée conique, ſur laquelle on enveloppe une corde qui tient un poids ſuſpendu ; car en expoſant cette machine à l'air libre, & dans une direction convenable, le petit moulin tourne

XI. LEÇON.

tourne d'abord, & s'arrête ensuite, quand le poids qui tire sur la fusée, lui fait équilibre ; or comme les rayons de cette fusée sont connus, ou faciles à connoître, on peut aisément comparer les forces qui ont fait équilibre aux vents en différens tems.

Parmi toutes les machines propres à mesurer les vents, & que l'on nomme pour cette raison *Anémométres*, je n'ai rien vû de plus ingénieux & de plus complet que celle de M. le Comte d'Ons-enbray, qui est décrite fort au long dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1734. Non seulement elle marque la vîtesse & la direction du vent ; mais elle en tient compte pour l'observateur absent, & l'on voit après 24 heures, quels vents ont régné, & quelles ont été pendant cet espace de tems la durée & la vîtesse de chacun.

La nature qui ne fait rien d'inutile, sçait mettre les vents à profit : ce sont eux qui transportent les nuages pour arroser & fertiliser les différentes parties de la terre ; ce sont eux qui les dissipent pour faire succéder le calme à l'orage ; c'est par ces mou-

XI. Leçon.

vemens & par ces agitations que l'air se renouvelle & se purifie, & que le chaud & le froid se transmettent d'un pays à l'autre. Il arrive aussi quelquefois que l'on perd au change : car si le vent vient d'un lieu mal sain, il en apporte les mauvaises qualités, & sert de véhicule à la contagion ; mais ce sont des cas particuliers & assez rares qui ne l'emportent point sur une infinité d'autres avantages que nous tirons du vent.

On est surpris de voir naître certaines plantes au sommet d'une tour, sur le tronc d'un arbre, &c. où l'on n'a pas lieu de croire que personne ait pris la peine de les semer ; c'est l'ouvrage du vent qui éléve la terre en poussiére, & ensuite les semences que l'eau du ciel fait germer. C'est par la même cause que le gramen & toutes les herbes des champs se multiplient & croissent dans une quantité d'endroits, où l'on voudroit souvent qu'elles ne vinssent point.

L'art imitant la nature, a trouvé dans les vents de puissans moteurs, qui nous procurent de grandes commodités, & qui étendent prodigieusement notre commerce : combien la

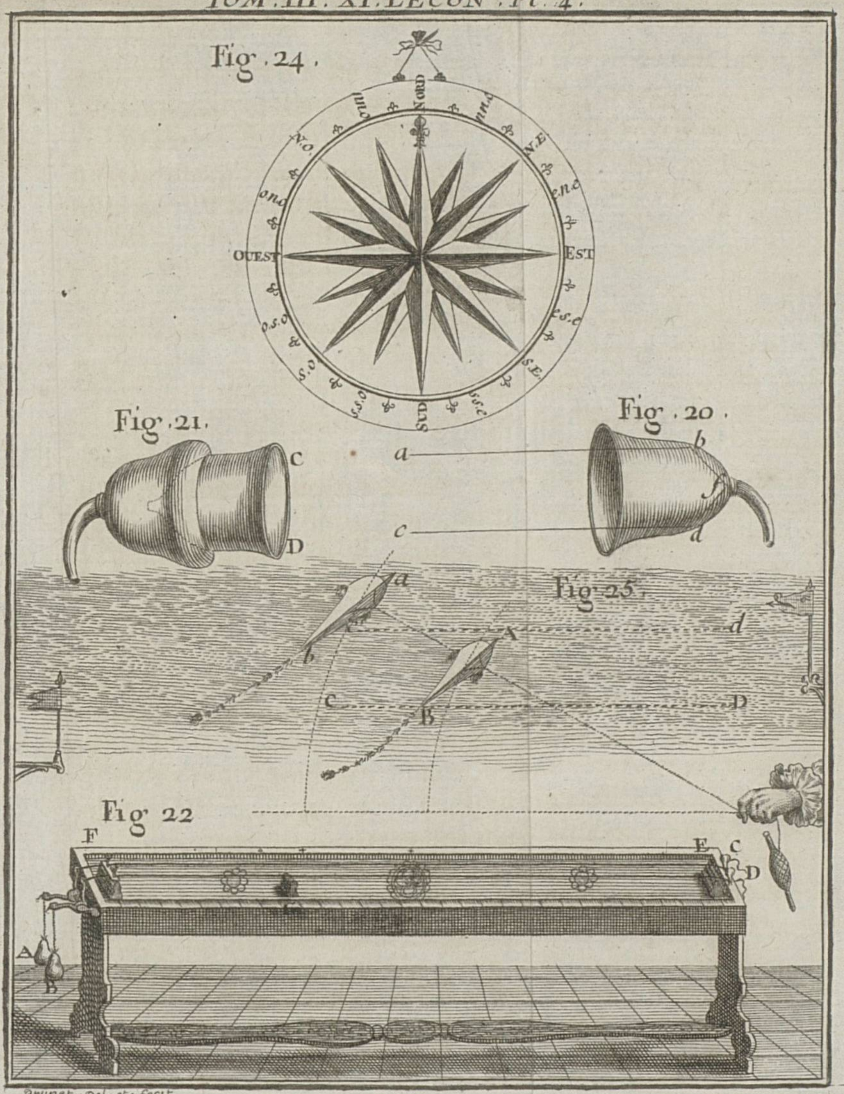
navigation ne seroit-elle pas bornée, si les vaisseaux n'alloient qu'à force de rames, comme les galéres ? les voyages de long cours seroient impraticables par leur lenteur, & par les frais d'équipages : au lieu qu'à l'aide des vents, & des voiles qui en reçoivent l'impulsion, un petit nombre de matelots, au fait de la manœuvre, conduit avec beaucoup de diligence, une petite armée de soldats, ou un magasin énorme de marchandises, d'un bord à l'autre de l'Océan.

Quels secours ne tirons-nous pas des moulins à vent, pour moudre le grain, extraire l'huile des semences, fouler les draps, scier les planches, broyer les couleurs, ou autres matiéres, &c. combien d'hommes ou de chevaux ne faudroit-il pas employer, pour faire toute la farine que le vent prépare à Montmartre, ou ailleurs aux environs de Paris ? Tous ces travaux s'opérent à peu de frais, par le moyen de quatre aîles qui font l'office de léviers, & qui présentent leur plan d'une maniére oblique à la direction du vent : la puissance qui agit continuellement

XI. LEÇON.

ſur ces quatre plans inclinés, les oblige de reculer ſans ceſſe ; ce qu'ils ne peuvent faire qu'en tournant, & en faiſant tourner l'arbre auquel ils ſont fixés.

C'eſt par une méchanique aſſez ſemblable que les enfans trouvent le moyen d'enlever ces eſpéces de chaſſis couverts de papier, qu'ils appellent *cervolans* ; car la corde avec laquelle ils les retiennent, eſt toujours attachée de façon que ce plan ſe préſente obliquement à la direction du vent, & alors l'impulſion de l'air tend toujours à le faire monter, en décrivant l'arc d'un cercle qui a pour rayon la ficelle que tient en ſa main celui qui gouverne le cervolant. Mais comme il faut que l'axe *AB* ſoit toujours incliné au vent *C D*, d'une certaine quantité, au-deſſous & au-delà de laquelle l'impulſion n'auroit plus l'effet qu'on en attend, on a ſoin de faire filer la corde ; & par ce moyen le cervolant ſe trouvant à l'extrémité d'un arc ſemblable, mais d'un plus grand cercle, ſon axe *a b* eſt toujours également incliné au vent *c d* ; & le degré d'élévation eſt plus grand. *Voyez la Fig.* 25.



Brunet Del. et Fecit

Le ſecours du vent eſt ſi commode, & ſes avantages ſont ſi bien connus de tout le monde, que quand il n'en fait pas, ou que nous ne ſommes pas à portée d'en profiter, nous prenons la peine de nous en procurer artificiellement : on agite l'air avec un éventail, ou autrement pour ſe donner du frais ; le forgeron ſe ſert d'un ſoufflet pour animer ſon feu ; & le boulanger nettoye ſon bled, en le faiſant paſſer devant une eſpéce de roue garnie de quatre volans qu'il fait tourner, pour jetter l'air deſſus, & emporter la pouſſiére : ce crible qui vient originairement d'Allemagne, a été perfectionné & connu à Paris & aux environs, par les ſoins de M. d'Hecbourg, ancien Officier d'Artillerie ; je ſçais par moi-même, & par le grand débit que je lui ai vû faire de cette machine, combien elle eſt utile à ceux qui ont beaucoup de grain à nettoyer & à conſerver.

XI. LEÇON.

Fin du troiſiéme Volume.



TABLE DES MATIERES

Contenues dans le troisiéme Volume.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

X. LEÇON.

Sur la Nature & les Propriétés de l'Air.

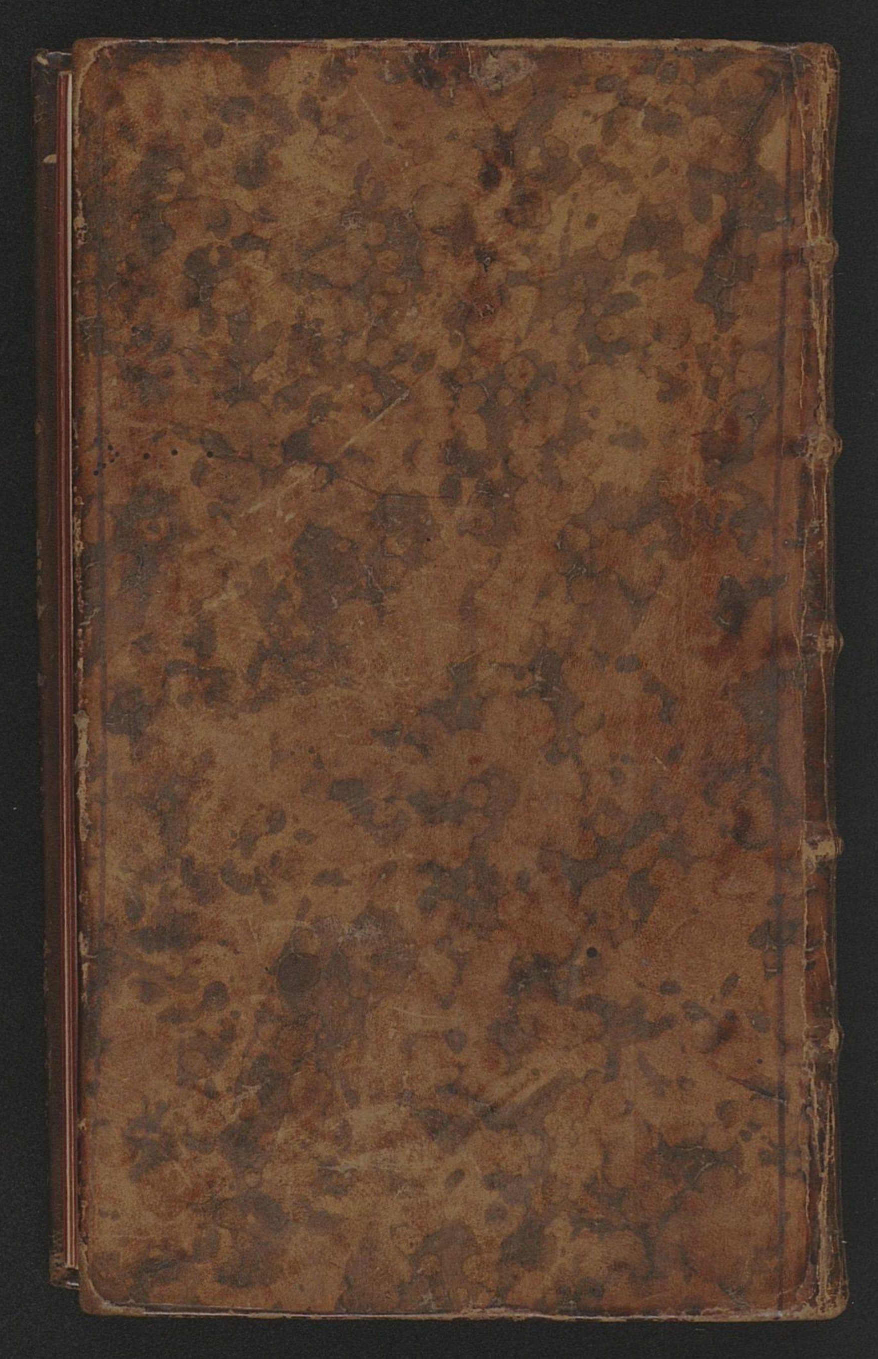
XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

Fin de la Table des Matieres du Tome troiſiéme.









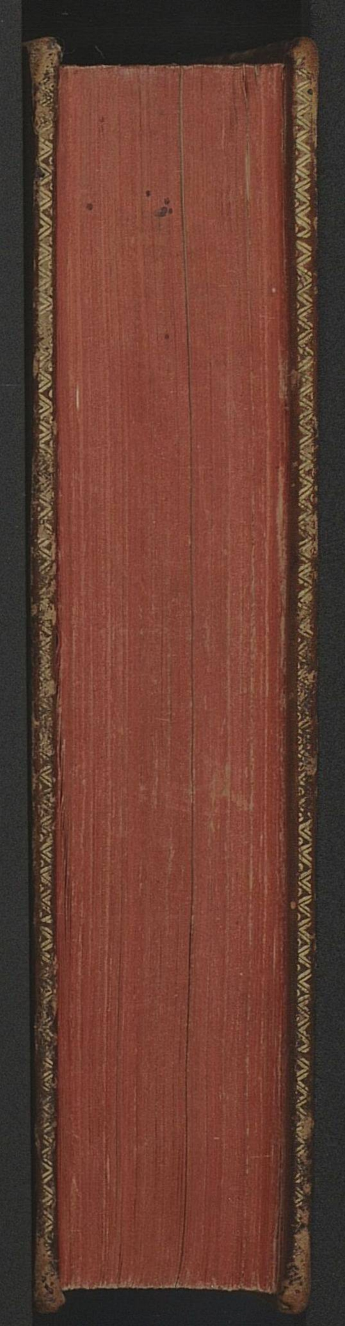
LEÇONS
DE
PHISIQ

TOM III









inches

centimeters

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (A)	12	13	14	15
L*	39.12	65.43	49.87	44.26	55.56	70.82	63.51	39.92	52.24	97.06	92.02	87.34	82.14	72.06	62.15
a*	13.24	18.11	-4.34	-13.80	9.82	-33.43	34.26	11.81	48.55	-0.40	-0.60	-0.75	-1.06	-1.19	-1.07
b*	15.07	18.72	-22.29	22.85	-24.49	-0.35	59.60	-46.07	18.51	1.13	0.23	0.21	0.43	0.28	0.19
Density →										0.04	0.09	0.15	0.22	0.36	0.51

	16 (M)	17	18 (B)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
L*	49.25	38.62	28.86	16.19	8.29	3.44	31.41	72.46	72.95	29.37	54.91	43.96	82.74	52.79	50.87
a*	-0.16	-0.18	0.54	-0.05	-0.81	-0.23	20.98	-24.45	16.83	13.06	-38.91	52.00	3.45	50.88	-27.17
b*	0.01	-0.04	0.60	0.73	0.19	0.49	-19.43	55.93	68.80	-49.49	30.77	30.01	81.29	-12.72	-29.46
Density	0.75	0.98	1.24	1.67	2.04	2.42									

D50 Illuminant, 2 degree observer

Golden Thread

Colors by Munsell Color Services Lab

Don Williams